



全国重点文物保护单位

柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程

施工图设计

中铁西北科学研究院有限公司

中铁文保科创有限公司

2025 年 1 月 兰州

项目名称：柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程
委托单位：吐鲁番市文物局
设计单位：中铁西北科学研究院有限公司 中铁文保科创有限公司



编制：赵敬善 王显钰 卢芳琴 牛晓娟
复核：姜韵玉
项目负责人：王捷
审核：吴冠仲
总工程师：安品康
主管院长：冷希
证书等级：文物保护工程勘察设计甲级
证书编号：文物设甲字 ZRSJ20150917



柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程勘察报告及设计方案专家意见回复

一、专家意见

新疆维吾尔自治区文化和旅游厅

新文旅复函〔2024〕903号

关于对柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程
勘察报告及设计方案的批复

吐鲁番市文物局：

你局《关于再次上报柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程勘察报告及设计方案的请示》（吐市文物字〔2023〕55号）收悉，根据《国家文物局关于柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程立项的批复》（文物保函〔2015〕1788号）要求，自治区文化和旅游厅委托第三方评审机构开展设计方案评审工作。经评审研究，我厅批复如下：

一、原则同意柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程勘察报告及设计方案。

二、方案应做如下调整和补充：

（一）进一步完善勘察报告，规范文字说明，注重历史维修和设施建设资料的收集，补充设计说明和设计图纸。施工图设计阶段应增加木栈道（试验段）设计内容。

（二）木栈道设计应充分考虑游客参观和日常管理需求，同时尽可能缩减栈道建设规模。研究确定合理的游客承载量，最佳的旅游路线，并在栈道等保护性设施建设、石窟文物保护管理等措施制定时充分考虑处理好新建栈道与原有栈道及石

窟环境的协调性。

（三）为确保日常管理和游客安全，建议重点对栈道与崖体连接措施进行评估，确定最稳妥方案。根据石窟寺地质条件和游客承载量要求，选取工程试验部位和方式。栈道建设应在前期试验和效果评估基础上逐步实施。

（四）在材料选取和措施选择中，应充分考虑环境因素的影响，如高温、大风、暴雨山洪等。做好木材防腐防虫、以及防裂处理等工作。

（四）现有混凝土栏杆，包括防洪坝栏杆、栏板，已形成多年，基本融入千佛洞环境，无需实施真石漆喷涂，建议取消。方案中有关920米防洪坝栏杆、688樘栏板改造的原因分析和内容表达不清，应予以补充。不建议将混凝土栏杆、栏板改为防腐木。

请你单位根据上述意见指导建设单位对方案进行修改完善，经我厅核准并按照国家相关规定履行报批程序后方可实施。

此复。

联系人：开沙江·库尔班 联系方式：13999280452



二、修改回复

（一）进一步完善勘察报告，规范文字说明，注重历史维修和设施建设资料的收集，补充设计说明和设计图纸。 施工图设计阶段应增加木栈道（试验段）设计内容。

回复：已完善勘察设计报告；对文字说明部分重新进行了梳理；补充了历史维修和设施建设资料（详见 P3）；已补充设计说明和设计图纸（详见图 ZDJC29），细化了各节点的连接方式、整体结构、节点图等（详见图 ZDJC22）；施工图设计阶段增加了木栈道（试验段）设计内容（详见 P33）。

（二）木栈道设计应充分考虑游客参观和日常管理需求，同时尽可能缩减栈道建设规模。 研究确定合理的游客承载量，最佳的旅游路线，并在栈道等保护性设施建设、 石窟文物保护管理等措施制定时充分考虑处理好新建栈道与原有栈道及石窟环境的协调性。

回复：（1）该项目木栈道的选线是根据保护规划和立项文件的要求，兼顾文物保护、展示、游客游览和管理的需求，遵从对文物本体及赋存体尽量扰动小的原则，利用现有的地形地势，连接已有路线形成闭合环形观光道路系统。其新建栈道规模与需求一致；

（2）根据《总体规划》第 5.5.5 条第（1）款，按全年开放接待计算，平均每天 500 人左右。故客流预测是可以保证。每年的 6~10 月是游客相对集中的旺季（详见 P16）。设计根据旺季游客量，并考虑了突发状况的冗余客流量。依据洞窟的分布和周围环境，将观光线路设计为闭合环形道路系统以确保游客游览顺畅，视野效果最佳，利于疏导，方便管理（详见 P35）；

（3）通过修筑木栈道可约束游客游览的随意性，减少游人对千佛洞石窟的环境破坏，使游客能近距离的观赏石窟艺术，展示文物的价值，同时保护了石窟本体，改善文物所处的环境，进一步提高旅游业的发展，对文物本体和保护管理有积极的影响；

（4）现有混凝土栏杆已形成多年，基本融入石窟环境。而拟建的栈道在设计过程中充分考虑了与石窟周围环境风貌同色系的木色，保证栈道和石窟环境周围的协调性和融合性。（详见 P25 和 P37）。

（三）为确保日常管理和游客安全，建议重点对栈道与崖体连接措施进行评估，确定最稳妥方案。 根据石窟寺地质条件和游客承载量要求，选取工程试验部位和方式。栈道建设应在前期试验和效果评估基础上逐步实施。

回复：（1）通过对栈道所有构件进行承载能力极限状态和正常使用极限状态的计算，（包括：挑梁及连接处强度、挑梁变形、木纵梁自身及连接处强度等）栈道与崖体连接处均满足要求，设计

安全储备较高，设计满足要求。（详见 P28-32）另外补充柏孜克里克千佛洞木栈道有限元分析报告，对木栈道钢挑梁使用有限元方法对结构的静力特性和稳定性进行计算分析，分析其抗压强度、抗弯强度、抗剪强度，检验木栈道设计是否符合规范要求。（详见附件 1. 柏孜克里克千佛洞木栈道有限元分析报告）；

（2）依据石窟寺地质条件、栈道布设位置和游客承载量的要求，选取了适宜的工程试验部位和试验措施（详见 P32-33）。以此验证悬挑设计的合理性和安全性，同时选择最优锚固深度，确保栈道的安全可靠。且施工参数的确定根据前期试验和效果评估进行复核和调整。

（四）在材料选取和措施选择中，应充分考虑环境因素的影响， 如高温、 大风、暴雨山洪等。 做好木材防腐防虫、以及防裂处理等工作。

回复：（1）关于暴雨山洪影响：木栈道在易受山洪影响处采用架空结构，以确保在暴雨山洪等影响下的安全性（详见图 ZDGC-002），为应对暴雨山洪自然灾害，需制定制定柏孜克里克木栈道防汛预案，（详见 p23）（2）大风影响：为了提高栈道抗风能力，在栈道的抗倾覆稳定性计算中，考虑了的风荷载作用（详见 P23 和 P32）；（3）高温影响：栈道采用钢木结构，钢木材料都具有很好的延展性，具有良好的热稳定性（详见 P26）；（4）为了避免栈道板在木材腐旧而损害，将面板设计成可拆装的构件。定期对栈道进行全面检查，确保无松动、无开焊、无变形、钢结构无腐蚀，防范于未然。木栈道木材采用俄罗斯樟子松（详见 P24）。

（五）现有混凝土栏杆，包括防洪坝栏杆、栏板， 已形成多年，基本融入千佛洞环境，无需实施真石漆喷涂，建议取消。方案中有关 920 米防洪坝栏杆、688 栝楸栏板改造的原因分析和内容表达不清，应予以补充。不建议将混凝土栏杆、栏板改为防腐木。

回复：按照批复意见取消了现有栈道的混凝土栏杆、防洪坝栏杆和栏板的真石漆喷涂部分（详见 P25）；现有防护坝栏杆和栏板风貌与石窟寺周围环境相适应。因此，对原有洪坝栏杆和栏板继续保留原风貌。但由于现有栏杆和栏板年久失修，局部出现了结构性病害，具有潜在的安全隐患。因此，在项目实施过程中，需要对现有洪坝栏杆和栏板进行稳定性评估，对有病害的部位采取加固处理等措施（详见 P26）；取消了防洪坝混凝土栏杆和栏板改为防腐木的部分。

目 录	
目 录	1
一、设计任务、原则、依据及目标	1
（一）设计任务	1
（二）设计原则	1
（三）设计依据	1
（四）设计目标	2
二、栈道方案设计	2
（一） 栈道的选址设计	2
（二）栈道的功能设计	3
（三）栈道的分类	4
（四）栈道设计的要点	4
（五）既有栈道存在的主要问题	6
（六）既有钢筋混凝土栈道及防护坝栏杆改造	6
（七）拟建钢木结构栈道方案	7
（八）钢木结构栈道设计范围	7
（九）木栈道施细部设计	8
（十）木栈道施工工艺、施工工序	8
（十一）悬臂钢梁可逆措施	9
（十二）栈道修建对石窟寺的影响评估	10
三、栈道设计计算	10
（一）基本资料	10
（二）结构验算	11
（三）计算结果	15
四、主要工程数量	15
五、 试验区	17
挑梁荷载试验	18
六、文物保护临时措施	18
七、防晒遮阳设计	18
八、施工便道设计	19
九、脚手架搭设	19
十、防洪度汛	19
十一、材料要求	19
十二、质量标准	20
十三、施工注意事项	20
（一）放线注意事项：	20
（二）其他注意事项	20

一、设计任务、原则、依据及目标

（一）设计任务

柏孜克里克石窟位于新疆维吾尔自治区吐鲁番市东北约 40km 的火焰山主峰山腰、族与汉族及兄弟民族间的亲密关系。柏孜克里克石窟的选址、建造工艺具有重要的科学价值，不同时期石窟的不同建筑工艺反映了社会生产力的发展，不同建筑风格的融合对于研究西域与中原多文化融合具有重要的参考价值，不同时期的壁画内容丰富，对于研究当时的历史具有重要的科学意义。

（二）设计原则

柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程应在“以人为本、安全第一，保护为主、旅游与展示相结合”的总原则下，遵循以下基本原则：

1、以人为本，文物保护与展示结合的原则

柏孜克里克石窟为第二批全国重点文物保护单位，吸收了中原地区的文化精髓，同时保持了鲜明的民族传统文化特色，对研究东西方文化的交融和汇集有极其重要价值。窟室中保留了诸多不同民族的相貌、服饰、文字榜书，从中可透视出当时回鹘族与汉族及兄弟民族间的亲密关系。柏孜克里克石窟的选址、建造工艺具有重要的科学价值，不同时期石窟的不同建筑工艺反映了社会生产力的发展，不同建筑风格的融合对于研究西域与中原多文化融合具有重要的参考价值，不同时期的壁画内容丰富，对于研究当时的历史具有重要的科学意义。

2、以文物保护设计理念为根本原则

在设计各个阶段，始终要坚持文物保护相关基本原则。若产生与文物保护理念冲突的重要防渗措施，可遵循相关规范要求设计，以保证木栈道建筑形式和结构物安

全为主，同时兼顾文物保护相关原则，优化设计，使之达到文物保护和参观展示并行不悖的效果。

3、文物保护工程相关原则

（1）此次设计为保护性设施建设。严格遵循“不改变文物原状，保护文物真实性”的原则，尽可能避免干扰石窟遗址，真实完整地保存千佛洞的历史原貌和建筑形制，在栈道实施过程中不破坏、不干扰、不损伤石窟遗址的分布特征等原有状态及历史信息，同时保持文物载体、文物环境自然状态的真实性和完整性，尽可能减少或避免栈道工程措施造成的干扰和影响；

（2）保护工程应遵循“可识别性和可持续性”的保护原则；

（3）严格遵循“真实性和使用恰当的保护技术”的保护原则。应该按照现有成熟的恰当的工程修建措施；

（4）遵循世界文化遗产保护“最大兼容、最小干预、保持原貌”的原则；

（5）所用材料和工艺应遵循“现场试验、检测合格、逐步使用”的原则。用到的新材料、浆液配制，必须在进行现场、室内试验，然后对其试验结果检测验证，在材料性质、配比、施工工艺取得成功的基础上，方可用于工程实施；

（6）工程实施过程中，应按照文物保护工程法规的要求配合相应的调查。

（三）设计依据

1、相关法律法规

- ① 《中华人民共和国文物保护法》（2015）；
- ② 《文物保护工程设计文件编制深度要求》；
- ③ 《中华人民共和国文物保护法实施条例》（2013）；

- ④《国际古迹保护与修复宪章》（威尼斯宪章）；
- ⑤《文物保护工程管理办法》（2003）；
- ⑥《中国文物古迹保护准则》（2015 修订）。

2、相关技术规范规程

- ①《砌体结构设计规范》（GB50003-2011）；
- ②《混凝土结构设计规范》（GB50010-2010）（2015 年版）；
- ③《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2011）；
- ④《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）（2016 年版）；
- ⑤《钢结构设计规范》（GB50017-2017）；
- ⑥《木结构设计规范》（GB50005-2017）；
- ⑦有关工程设计规范及手册。

3、设计合同及相关技术资料

- ①吐鲁番地区文物局与中铁西北科学研究院有限公司签订的《柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程设计方案》文物保护勘察设计合同；
- ②《吐鲁番地区文物保护与旅游发展总体规划》；
- ③《丝绸之路新疆段重点文物保护项目分项工作委托书-柏孜克里克石窟保护工程》；
- ④《柏孜克里克石窟寺文物保护详细规划》（中国文物研究所 2002 年 4 月）（已批准）。
- ⑤《关于柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程立项的批复》 文物保函【2015】 1788 号；

（四）设计目标

方案设计的目标为：设在距游客服务中心以北 50 米的冲沟处。在冲沟内顺地形修筑 80 米长的栈道台阶，进入到沟底，沿着路、坝一体的防洪堤进到窟区，此段距离结合沟底游览，以观赏自然景色和绿化植被为主，创造参观者享受自然、宁静、安逸的空间环境之心理。

从入口到窟区北端约有 800m 的木头沟两岸漫滩地作为沟内景观游览区，以疏导参观进程的空间和时间，扩大游人的活动范围，减少缓解内部游览压力。

窟区参观分为下、中、南三段，这是观赏石窟艺术的高潮区，改变人流过于集中进入洞窟的状态，游客应有讲解员带领进入洞窟参观，并进行疏导。

抗震设计目标：根据《建筑工程抗震设防分类标准》（GB50223-2008），本工程按标准设防类（丙类）设防。抗震设防烈度设计标准根据《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）和《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）（2016 年版），新疆吐鲁番市抗震设防烈度为 7 度，地震动峰值加速度为 0.10g，地震动反应谱特征周期 0.40s。

二、栈道方案设计

栈道原指沿悬崖峭壁修建的一种道路，中国古代高楼间架空的通道也称栈道。栈道修建时首先在悬崖峭壁上凿孔、孔穴内插上石桩或木桩，然后上面横铺木板或石板，可供人车通行。

按照《柏孜克里克千佛洞保护规划》的相关要求，明确栈道选址、选路设计，注意与文物景观风貌相协调。

（一）栈道的选址设计

此次设计栈道的选址设计综合考虑了地理环境、文化价值、历史遗迹保护以及游客游览需求等多方面因素，以下是具体的设计要点：

地理环境与选址：

位置选择：柏孜克里克石窟寺位于新疆吐鲁番市东北约 40 公里的火焰山主峰山腰，木头沟沟谷西岸的陡崖上。栈道选址充分考虑了石窟的分布特点，新建悬臂栈道沿着陡崖的走向进行布局，以确保游客能够方便地到达各个洞窟。

地形适应性：石窟寺所在的火焰山地区地形复杂，夏季气温极高，冬季温差大。栈道设计充分考虑了地形的起伏和崖壁的稳定性，采用分段式设计，以适应不同高度和坡度的崖壁。

自然环境融合：栈道在设计时注重与自然环境的融合，尽量减少对原有地貌的破坏，同时利用自然景观增强游客的游览体验。

文化价值与保护：

保护历史遗迹：柏孜克里克石窟寺是新疆境内著名的佛教石窟寺遗址之一，保存了大量色彩绚丽的古代壁画和重要的历史文献。栈道的设计充分考虑了对这些历史遗迹的保护，避免对石窟本体造成破坏。

文化展示功能：栈道不仅是游览设施，还承担着文化展示的功能。在栈道上设置了多处展示点，介绍石窟的历史背景、艺术特色以及与丝绸之路的联系。

游客游览需求：

游览便利性：栈道的设计充分考虑了游客的游览需求，确保游客能够安全、便捷地参观各个洞窟。栈道宽度和坡度设计合理，避免游客在参观过程中感到疲劳。

空间布局：栈道将石窟寺分为多个游览区域，游客可以根据自己的兴趣选择不同的游览路线。

历史遗迹保护：

栈道的建设采用锚杆锚固、裂隙充填注浆等，确保栈道与崖体的紧密结合。同时，栈道的设计尽量避免了游客直接接触石窟本体，减少人为干扰。

柏孜克里克石窟寺栈道的选址设计充分考虑了地理环境、文化价值、历史遗迹保护以及游客游览需求等多方面因素，既满足了游客的参观需求，又保护了石窟寺的历史遗迹。

（二）栈道的功能设计

交通功能：柏孜克里克千佛洞石窟所在盆地干热、少雨的气候特征。有些石窟目前还无法直接到达，不利于保护区工作人员的正常维护石窟。目前的栈道存在延伸处不足，无法近距离参观等问题。

通过新建悬臂栈道及铺地栈道工程的实施完善，可以有效的弥补日益增长的游览需求，使游客能够安全、便捷地参观各个洞窟。

导游功能：柏孜克里克石窟寺的洞窟分布在沟谷西岸的断崖上，新建栈道将这些分散的洞窟连接起来，方便游客在不同洞窟之间穿梭，引导游客按照合理的路线参观石窟寺，避免游客迷路或重复参观。

木栈道为游客提供了清晰的参观路径，导游可以沿着栈道引导游客依次参观各个洞窟，避免游客迷路或遗漏重要景点，在旅游旺季，木栈道可以有效地控制人流方向，避免游客在狭窄的通道中发生拥堵和混乱。

安全功能：确保游客安全：木栈道为游客提供了安全的行走平台，尤其是在悬

崖峭壁上，栈道的栏杆和坚固结构可以有效防止游客发生意外，在栈道两侧新建栏杆高度 1.3 米防腐木栏杆，栏杆的形式和材质符合安全标准，与石窟寺现有景观相协调。

保护文物安全：新建木栈道的设置避免了游客直接接触崖壁和洞窟，减少了对文物的潜在破坏，游客被有序性的安排在设计好的路线上，使游客远离危险区域，同时避开千佛洞石窟保护区的核心区域，减少对文物本体的破坏，达到游客安全和石窟艺术资源保护的目 的，使游客在保护区内可以安心、舒心、愉快地游览、观赏石窟的美景。

景观功能：① 与自然景观融合：柏孜克里克石窟寺位于火焰山峡谷的木头沟中，木栈道的设计巧妙地融入了自然环境。游客沿着木栈道行走时，可以一边欣赏石窟壁画，一边感受木头沟的溪流、绿荫和清新的空气。这种设计让游客仿佛置身于自然与历史交融的画卷之中，提升了游览的体验感。

② 营造空间层次感：新建木栈道蜿蜒于山崖之间，连接了不同高度和位置的洞窟，形成了丰富的空间层次。游客在栈道上行走时，可以远眺整个石窟群的全貌，感受其宏大的气势。这种设计不仅方便了游客的参观，还增强了石窟寺的整体景观效果。

③增强文化氛围：木栈道的设计与石窟寺的历史文化相呼应。在古代，柏孜克里克石窟寺曾有高大的殿堂和回廊，如今木栈道在一定程度上重现了这种建筑格局。游客在栈道上行走时，仿佛穿越时空，回到古代佛教盛行的年代，增强了对历史文化的沉浸感。

空间分割功能：①划分游览区域：柏孜克里克石窟寺的木栈道通过其布局和设计，将石窟寺的游览区域进行了有效划分。石窟寺的洞窟分布在沟谷西岸的断崖上，木栈道将这些洞窟连接起来，同时将游客的活动范围限定在栈道上，避免游客随意进入其

他区域，从而保护了石窟寺的文物。

（三）栈道的分类

从材质上分类木材、石材、钢材和钢筋混凝土等多种材料在栈道中都有应用。目前，千佛洞石窟所有已修建的栈道，是钢筋混凝土材质结构，例如，栈道的面板是混凝土材质、木材材质。

本次新建木栈道从结构形式分类栈道按结构形式分类，主要形式为：悬臂栈道及铺地栈道。

（四）栈道设计的要点

尊重柏孜克里克千佛洞石窟保护区的功能划分：在建设栈道之前，必须明确功能分区，体现“**轻型、可逆**”的设计理念。一般可划分为 3 个区域，即**核心接触区、缓冲区和实验区**，这 3 个区域的地位和功能不同。

首先，核心接触区是人可以近距离接触到石窟或崖壁分布的区域，核心接触区的人为活动应严格限制，一般仅限于单排人行通过，不宜有冲击荷载。但为了方便科研，可供管理人员进行数据的采集和考古调查，但避免游客集中在一个石窟内参观。

其次，缓冲区是保护区内开展定位科学研究的主要区域，可以适当采集数据，可用于科研观测。应建设完善的管理体制，栈道以科研人员出入优先，避免游客拥挤。栈道体量不宜大，并采用轻型材料，工厂化标准件制品，尽量减少因修建栈道对文物本体造成影响或破坏。

实验区主要是探索石窟外围场地的保护，在有效保护的前提下，对外围场地进行适度利用，并成为游客休息、观景的示范区域。此区域在保护栈道周边的生态环境的基础上，以可持续发展的理念，选择合适的栈道类型，以美学、人体工程学、生态学

的理论为指导，修建防腐能力强、路线设计、高程控制合理的轻型、可逆栈道。

栈道的安全性设计：由于千佛洞石窟遗址处火焰山山体走向北西（约 300° ），木头沟以 $20\sim 30^{\circ}$ 夹角斜穿火焰山与胜金乡沟相交。水流方向大致由西北流向东南，河谷此处呈 U 形，沟底较平坦，宽 $50\sim 70\text{m}$ ，高程 $100\sim 110\text{m}$ ，坡降约 13%；两岸基本呈直壁，受到风沙和昼夜温差大的影响，栈道的抗风能力、类型选择、基础及上部结构设计、路线设计、高程控制、排水防滑系统等方面关系到栈道的安全性。

1) 栈道抗风措施：为了提高栈道抗风能力，栈道的抗倾覆稳定性计算中，应考虑极端恶劣的天气，避免因计算风压值偏小，导致栈道基础及上部结构强度和刚度不足，引起栈道弯折倒塌。为了避免栈道板在木材腐旧而损害，将面板设计成可拆装的构件。定期对栈道进行全面检查，确保无松动、无开焊、无变形、钢结构无腐蚀，防患于未然。

2) 栈道防洪措施：为确保木栈道在汛期期间的安全运行，防止洪水、滑坡、泥石流等自然灾害对木栈道造成破坏，保障游客的生命财产安全，根据《中华人民共和国防洪法》《中华人民共和国防汛条例》等相关法律法规，结合木栈道实际情况，制定柏孜克里克木栈道防汛预案。

3) 栈道高程控制及其基础和上部结构设计：栈道的顶面设计高程应考虑到人员进出石窟的方便进行设定，应根据地形条件、使用功能和排水要求确定。设计高程应确保栈道表面平整、排水顺畅。施工过程中，应严格按照设计高程进行施工，确保基础、龙骨和栈道木的铺设符合设计要求。

架空栈道基础：架空栈道上部结构采用钢结构纵横梁组成的平面钢架结构，增强了上部结构的整体性，减轻了上部结构的总重量，确保结构的安全。

栈道基础主要形式有混凝土灌注基础、混凝土预制枕木基础、沉箱式枕木基础、独立基础等，因柏孜克里克石窟地下水位较深，无河水冲击等原因，一般选用独立基础，独立基础的尺寸应根据悬臂梁的荷载和地质条件计算确定。根据实际情况选择合适的栈道类型，其基础工程结构应稳定，栈道基础承载能力应满足设计要求。

铺地栈道基础：铺地栈道基础采用 MU10 烧结实心砖加 M5 水泥砂浆现场砌筑，MU10 烧结实心砖在强度、尺寸精度、抗风化性能等方面都有可靠的保证，能够为木栈道基础提供稳定的支撑；M5 水泥砂浆按照规范的配合比和搅拌工艺配制的 M5 水泥砂浆，其强度、和易性等性能能够得到有效控制，在不同批次的生产中，质量波动较小。这使得在整个木栈道基础施工过程中，能够保证各部位的粘结强度和整体质量的一致性。

4) 栈道的路线设计：在综合考虑千佛洞石窟保护区功能分区的基础上，栈道路线布置以“最小干预性”为原则。注重栈道与石窟遗址的协调性。做到既要满足行人的基本要求，又要达到自然景观与再造景观的和谐统一。栈道路线可沿冲沟外伸至公路边上，并在栈道两旁设置指示牌或参观路线等进行提示，方便游客体验和观察，达到引导游客的目的。对高差较大的部位，栈道路线可进行架空栈道，依崖壁形式而修建，形成一定的折线形式，并且修建的时候尽量减少“大开挖大回填”，减少修建后对自然环境的影响。

5) 护栏：对于悬臂栈道和架空栈道应配套设置护栏，非架空栈道和高程低的栈道原则上可不设置护栏。保证安全是护栏的重要功能。护栏的设计高度约 1.2m，过矮防护性不足，太高则挡住儿童视线。护栏在安全前提下，应尽可能采用“露、透、轻”的结构形式。本工程扶手栏杆拟采用欧洲赤松。

6) 栈道的坡度及排水防滑系统: 栈道的坡度应考虑防滑与排水, 步道的纵向坡度为 2%至 8%, 超过 8%的路段设置为阶梯。

本次铺地栈道表面材料选用俄罗斯樟子松, 在栈道表面设置防滑条或防滑纹理, 增加摩擦力, 防止游客滑倒。防滑条的间距和高度应根据实际需求进行设计, 防滑系统需要定期检查和维护, 确保其防滑性能, 特别是在雨季或潮湿环境下, 应及时清理栈道表面的积水和杂物。

7) 栈道的铺面材质的选择: 木材种类依据《木结构设计规范》(GB50005—2017) 对户外露台、人行道桥等材质要求, 分析木材的物理和化学特性, 选定合适的木材来做木栈道的材料。用木材作为栈道铺装材质的选择, 减少了钢筋混凝土的应用, 与周边环境更加协调, 具有易于施工、可逆性强等优势, 但应进行防腐防虫处理。本工程铺装板拟采用俄罗斯樟子松木材。

(五) 既有栈道存在的主要问题

目前, 国内石窟崖壁栈道设计较多, 根据柏孜克里克千佛洞石窟的环境条件, 对栈道修建开展有针对性设计。首先, 吐鲁番地区少雨、干旱, 要求栈道的材质具有耐腐蚀性、抗氧化、抗老化、防虫蛀等特点。目前有部分栈道混凝土面板有细微裂缝, 可能混凝土收缩引起的, 栈道维护成本高。其次, 栈道的走向没有考虑游客的参观路线和功能划分, 有些石窟未能近距离的感触。再次, 栈道的景观效果差, 栈道材质过于生硬, 且建设规模大, 使用混凝土结构, 可逆性较差, 结构受力荷载较大。最后, 栈道的基础设计、高程控制有待完善。

(六) 既有钢筋混凝土栈道及防护坝栏杆改造

原有钢筋混凝土栈道工程是柏孜克里克千佛洞抢险加固工程(一期)的重点工程

之一, 栈道全长 119.27m, 宽 1.8m, 建筑总面积为 214.69m², 依崖壁而立, 主体由三部分组成: 一、钢筋混凝土悬挑梁, 二、钢筋混凝土栏杆, 三、钢筋混凝土平台。混凝土设计强度等级: C30。该种施工方案结构体型厚重, 工程“可逆性”较差。

现有的钢筋混凝土栈道, 包括悬挑梁、栏杆和平台, 已形成多年, 基本融入千佛洞环境中, 因此, 在此次木栈道工程中, 对原有栈道保留原风貌, 在栈道关键部位进行稳定性评估, 有裂缝部位采取加固处理等措施。确保窟区环境的协调性及栈道的安全性。



图 3.1 既有栈道(局部)



图 3.2 既有栈道（局部）

防护坝栏杆和栏板距今已有 20 多年，其风貌逐渐跟周围环境达到相适应和融洽状态。因此，对原有洪坝栏杆和栏板继续保留原风貌。但由于现有栏杆和栏板的安全性与使用者的人身安全息息相关，防洪坝的栏杆和栏板又年久未经评估和加固处理，局部出现了混凝土构件常规性的病害等现象，具有潜在的安全隐患。

因此，在项目实施过程中，对洪坝栏杆和栏板进行稳定性评估，对有病害的部位采取加固处理等措施。

（七）拟建钢木结构栈道方案

钢材是一种轻质高强的材料，材质较为均匀。具有较好的塑性、韧性、可焊性。还可以采用螺栓连接、铆接等多种方式，使不同构件之间及与其材料之间的连接更为方便。钢结构是一种高效、快捷、经济、可持续发展的环保型建筑结构，不仅可以大大节约施工时间且施工不受季节影响，同时还增大了使用面积、抗震性能好，可避免钢筋混凝土湿式施工所造成的环境污染和噪声污染，便于拆卸回收和循环利用。

木材是一种可再生且能够多次循环利用的天然材料。木材除了给人舒适、温暖、具有亲和力的感受之外，同时还给人带来健康的生活环境。具有轻质高强、抗震性能好、易加工等特点。虽然木材的优点很多，但也有易变形、质地不均匀、明显的各向异性等天然缺陷。木材在顺其生长方向上的纤维长度及强度较径向大得多，这决定了木材特别适合单向承受顺纹方向的拉、压及弯矩。

通过不同材料构成的结构构件或结构形式组合，最大限度地发挥材料各自的属性，弥补各自的力学缺陷，从而达到结构能效的优化，钢木组合结构是指运用钢材和木材相互组合的方式建造的构筑建结构体系。这种组合结构系统比传统的木结构体系更加

坚固耐用，又比现代的纯钢结构更丰富多彩，使整个建造富有暖意，不再给人冰冷的感觉。钢木组合结构最大的优势在于两种材料的性能互补、协同作用，既有利于各自材料性能的高效发挥，同时也能够使结构抵抗各种拉、压、弯、剪等应力作用。并且钢材和木材都具有很好的延展性和良好的热稳定性，能够同节奏地进行热胀冷缩，使的钢木连接处于稳定状态。

钢木组合桥面系是利用剪力连接件把纵向叠合桥面板与钢梁组合起来。桥面木板在上，主要抵抗荷载作用下引起的压应力；钢梁在下，主要抵抗荷载作用下引起的拉应力。使用预制木桥面板替换原混凝土桥面板，由于自重上的减少可以大大提高活载的比例，也可以减少施工安装的复杂性，大幅缩短施工周期，从而降低维修成本。

综上所述：依据《木结构设计规范》（GB50005—2017）对户外露台、人行道桥等材质要求，通过分析现有市场木材的物理特性和化学特性，根据遗址区对木质材质的抗老化、抗虫蛀、耐腐蚀、硬度、强度以及与周边环境协调性等方面的要求，柏孜克里克千佛洞拟建栈道的铺面材质拟采用俄罗斯樟子松木材。

（八）钢木结构栈道设计范围

方案设计范围：

新建栈道分为五个部分，即①崖体上悬臂栈道（与原有栈道 02 连接）、②架空木栈道（与防洪堤连接）、③铺地木栈道（与现有沥青道路连接）、④架空木栈道（与原有栈道 01 连接，延伸至防洪堤上）、⑤铺地木栈道（①～②之间段）。采用踏步台阶，依地形选线，铺地木栈道与临空栈道道路采用独立基础，持力层选择在第三系泥岩未风化层。崖体悬臂栈道选择悬臂梁加立柱结构，外挑 1.8m，局部加宽，52～58 号洞窟，小部分采用坡面平整、防腐木材铺面、防腐木材栏杆等措施建立栈道。

充分考虑到山洪暴雨等环境因素的影响，冲沟内栈道选择悬臂梁加立柱结构，外挑 1.8m，局部加宽，小部分采用坡面平整、防腐木材铺面、防腐木材栏杆等措施建立栈道。栈道的栏杆宜与原有栈道栏杆样式一致，栈道根据崖体的形态进行适当的仿古处理，以确保环境协调。采用钢木结构与原有栈道 02 连接，并一直向南延伸经过 52～58 号洞窟。（详见柏孜克里千佛洞栈道路线图）。

（九）木栈道施细部设计

- 1.造型：新建木质栏杆扶手整体风格沿用场地原有栏杆样式，采用仿古建筑风格，线条简洁流畅，体现古朴、典雅的气质，与千佛洞悠久的历史文化相呼应。栏杆高度设置为 1.3 米，既能有效防止游客翻越，又不会阻挡游客欣赏洞窟和周边景色的视线。
- 2.材质：选取度等级 TC17 欧洲赤松，具有良好的耐久性和稳定性，能适应千佛洞所在地区的气候条件，抵御风沙、日晒、雨淋等自然侵蚀，延长栏杆的使用寿命。木材的含水率控制在 15% 以内，防止因含水率过高导致木材变形、开裂。
- 3.结构要求：栏杆采用角钢和螺栓将栏杆立柱固定在 H 型钢纵梁上。不锈钢螺栓具有良好的耐腐蚀性和强度，能在恶劣环境下长期使用而不生锈、不损坏。连接方式采用螺栓连接，在安装过程中，确保螺栓拧紧，使各个部件紧密结合，保障栏杆的整体稳定性。

（十）木栈道施工工艺、施工工序

悬臂挑梁木栈道施工工艺与工序

- 1.施工准备
- 技术准备：施工前，组织施工人员深入研究施工图纸，了解悬臂挑梁木栈道的设计要求、结构特点和技术标准。进行详细的技术交底，让施工人员熟悉施工工艺和质

- 量控制要点，明确各工序的操作流程和注意事项。
- 材料准备：根据设计要求，采购优质的木材、连接件和其他辅助材料。木材选用经过防腐、防虫处理的樟子松，确保其强度和耐久性。连接件采用 304 不锈钢材质，保证连接的牢固性和耐腐蚀性。所有材料进场时，需附带质量检验报告和产品合格证，并按规定进行抽样检验。
- 工具准备：准备齐全施工所需的工具，如电锯、电钻、锤子、水平仪、经纬仪、测量尺等，并确保工具的完好性和准确性。
- 2.施工工序
- 测量放线：使用经纬仪和水准仪，依据设计图纸在施工现场准确测放出栈道的位置和轮廓线。确定悬臂挑梁的安装位置，在山体或建筑物上做好标记，并设置控制桩，以便后续施工过程中对栈道位置和标高进行复核。
- 基础施工：对于悬臂挑梁的支撑基础，若在山体上，需先对山体进行修整，确保基础面平整、稳固。采用人工挖孔或机械钻孔的方式，在基础位置开挖桩孔，桩孔深度和直径根据设计要求确定。在合适位置预埋钢板或连接件，确保悬臂挑梁与建筑物可靠连接。
- 挑梁安装：将预先加工好的悬臂挑梁吊运至安装位置，挑梁一般采用工字钢或槽钢制作，其规格和型号根据栈道的荷载计算确定。使用吊车或其他起重设备将挑梁吊起，对准基础上的预埋钢板或连接件，通过焊接或螺栓连接的方式将挑梁固定牢固。在安装过程中，使用水平仪和经纬仪检查挑梁的水平度和垂直度，确保偏差在允许范围内。
- 龙骨铺设：在悬臂挑梁上安装木龙骨，主龙骨采用 60×40×5 的镀锌矩管，表面

刷涂防锈漆，在铺设龙骨时，确保龙骨表面平整，无明显高低差。

面板安装：选用厚度为 40mm 的防腐木面板，面板宽度根据设计要求确定，一般为 80 - 150mm。将面板从栈道一端开始，依次铺设在龙骨上，面板之间预留 3 - 5mm 的伸缩缝，以适应木材的热胀冷缩，采用 40 厚 150 宽菁刚竹不锈钢平头螺栓固定面板。

栏杆安装：在面板安装完成后，进行栏杆安装。栏杆与立柱进行采用 6mm 角钢连接。栏杆高度为 1.3m。

防腐处理：在栈道施工完成后，对木材表面进行全面的防腐处理。先对木材表面进行清洁，去除灰尘、油污等杂质。然后，涂刷专用的木材防腐剂，一般涂刷 2 - 3 遍，确保防腐剂充分渗透到木材内部，增强木材的防腐、防虫性能。

验收交付：施工完成后，按照相关标准和设计要求进行验收。检查栈道的外观质量、结构强度、连接牢固性等，对发现的问题及时整改。验收合格后，交付使用。

（十一）悬臂钢梁可逆措施

1、拆除准备

1.1 技术准备工作

1）施工技术人员要审阅与施工相关的一切资料：悬臂钢梁可逆性的有关图纸和资料；可逆过程中涉及区域的建筑及设施的分布情况资料；全面了解悬臂钢梁的图纸和资料，进行实地勘察，弄清结构受力特点及建筑形式等情况；

2）学习有关规范及安全技术文件；

3）熟悉周围的环境、场地、道路、水电设施等情况；

4）向进场施工人员进行安全技术交底，下发作业指导书。

1.2 现场准备工作

1）施工前，要认真检查影响钢梁拆除时的周围栈道的情况，确认安全后方可施工；

2）确保现场道路通畅，接通施工中临时用水、用电；

3）在悬臂钢梁拆除危险区设置临时围挡、悬挂安全警示标志牌；

4）对搭设脚手架检查确认是否安全。

2、拆除顺序

对临近栈道进行支顶→清理场地周围→附属支撑（部分）→连接板螺栓拆除→栈道踏板拆除→钢纵梁拆除→悬臂梁拆除→拆除构件整体摆放→对悬臂梁拆除端口进行封堵、复旧→施工现场清理。

吊具在山墙面固定好，施工人员上到钢梁后将安全带固定在未拆除的钢梁上进行作业。

施工人员从上到下实施切割作业，切割前先用吊具两根钢索将钢梁绑紧，然后慢慢起钩使其刚好在紧张状态，但不受力只在旁边保护。每切一端前用绳索将其临时固定，防止以前钢梁坠落发生事故。另一施工人员进行检查周围钢梁焊接点是否开裂，信号工指挥吊具慢慢起钩作业；将拆除构件吊起并放回地面指定区域，构件落地后一定要垫实且码放整齐，不能影响吊具的行进路线，然后再向下拆除，依此类推，拆除完成后安装临时警戒线，每隔 10 米设置一根生命线。

螺栓拆卸前应先滴上柴油，然后用力矩扳手拆卸，如锈蚀严重需用气焊切割并保证不能伤到其他母材。

3、拆除注意事项

1) 在拆除悬臂式栈道周围拉起安全警戒线，并设有明显的警示标志，以避免其他人员误入，并设有专人负责看管，以保证与施工无关的人员不得进入，以免造成周围石窟的破坏；

2) 登高时所有的登高人员必须佩戴好安全帽，安全带，防滑鞋，由专职人员负责监督，对不符合要求的登高人员坚决不予登高，登高前对脚手架或爬梯进行安全检查，对腐蚀或链接进行修复或加强，以保证上下时的安全。

3) 施工以一平台向上为一个施工阶段，上一平台未完工绝不进入下一层平台施工，不同时进行上下交叉作业。

4) 在高空作业使用的任何东西都必须用绳索固定，以免坠落，向下吊物品时必须专人拉尾绳，以免与其他物品发生碰撞。

5) 拆除原则先上后下、先里后外、先非承重后承重结构的拆除方法。

（十二）栈道修建对石窟寺的影响评估

根据本工程设计方案，拟建项目对石窟寺的影响主要为施工中产生的机械振动、废水、废物和粉尘等，其中机械振动主要包括新建挑空栈道中的锚孔钻进振动以及施工过程中的其他机械、运输车辆的振动等。其中新建挑空栈道工程中的锚孔钻进距石窟很近，相对影响较大。参照已建类似石窟寺保护工程的施工经验，锚孔成孔运用牙轮钻头采用低速慢钻时，对石窟寺影响不大。同时，本项目的施工工艺遵循先实验后实施的基本原则，并在施工过程中实时监测，随时反馈施工振动对千佛洞的振动影响，确保文物安全。

施工过程中不可避免的产生弃土、生活污水与生产废水，施工期间可将集中处理，或者通过收集运送到建设控制地带外处理。并且施工单位可在施工前对该区域进行拍

照或摄影，留取原始风貌信息。施工完成后及时对比留取的信息及结合周边环境，清理建筑垃圾、对施工便道、生活区、施工场地、临建设施等进行恢复，施工现场剩余材料、废弃物、生活垃圾按有关规定外运处理。所以污水、弃土、垃圾对文物基本无影响。

拟建栈道根据崖体的形态进行适当的仿古处理，其线型、材质、色彩与石窟崖壁景观相融合。对既有栈道保留原风貌，确保窟区环境的协调性。总体而言，柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程对文物保护区的历史风貌影响较小。

三、栈道设计计算

（一）基本资料

1、主要技术指标

纵梁跨布置：标准跨径 4.0m，设计选择计算跨径 4.0m；设计荷载：人群荷载据《城市桥梁设计荷载标准》取 5.0kN/m^2 ，栏杆水平荷载 2.5kN/m ；栈道宽度：宽 1.8m。

2、材料规格及布置

a. 挑梁

H 型钢截面，梁外挑长 1.8m，为变截面，截面最大尺寸为 $250\times 250\times 9\times 14\text{mm}$ ，最小一端截面尺寸 $200\times 250\times 9\times 14\text{mm}$ 。悬挑方式：在崖体一端用钻机 $\phi 400\text{mm}$ 的孔，将工字梁一端伸入孔内，伸入孔内的工字梁周围注入 M30 水泥砂浆，在崖体边缘工字梁下部浇筑砼梁垫，以此挑梁作为承担木纵梁荷载的下部结构。

b. H 型钢纵梁

H 型钢截面，标准梁长 4.0m，斜梯梁长 5.5m，截面尺寸为 $200\times 200\times 8\times 12\text{mm}$ ，

采用每个跨径布置 3 根 H 型钢纵梁。与挑梁的连接方式为：在 H 钢挑梁上翼缘板和 H 型钢纵梁下翼缘板打螺栓孔，采用 M16 螺栓把 H 型钢挑梁和 H 型钢纵梁连接，将纵梁固定在 H 钢挑梁上翼缘上。

c. 栏杆

桥面横向两侧设防腐木栏杆，栏杆高度 1.3m，栏杆立柱截面尺寸为 150×150mm，间距 2.0m，用欧洲赤松，强度等级 TC17，采用角钢和螺栓将栏杆立柱固定在 H 型钢纵梁上。

d. 铺装

铺装采用 5cm 厚的防腐木条，强度等级 TC13 的俄罗斯樟子松，采用螺钉将铺装固定在 H 型钢纵梁上。

e. 螺栓

H 型钢纵梁和 H 钢挑梁连接采用 M16 的普通螺栓连接，栏杆立柱与 H 型钢纵梁连接采用角钢和 M16×200mm 螺栓连接。

（二）结构验算

1、荷载计算

a. 自重

栏杆：[（0.15×0.15×1.2×3+0.08×0.1×5×4）×7.5] ÷5=0.36kN/m

铺装木条：0.05×1.8×7.5=0.68kN/m

H 型钢纵梁：0.0093×78.5=0.73kN/m

H 型钢挑梁：0.0065×78.5= 0.51 kN/m

b. 活载

人群：5.0×1.6=8.0kN/m

2、H 型钢纵梁

H 型钢纵梁按简支梁计算，其中中梁相当于两个边梁受荷面积之和，选取中梁为设计纵梁。采用 Q245 钢材，抗弯 f=310 N/mm²，抗剪 f_v=180N/mm²，弹性模量 E=206000 N/mm²。

a. 抗弯验算

跨中弯矩设计值 M={ [1.2×（0.36+0.68+0.73）+1.4×8.0] ÷2×4×4} ÷8=13.3kN·m

$$\frac{M}{W_n} = \frac{13.3 \times 10^6}{4.77 \times 10^5} = 27.9N/mm^2 < 310N/mm^2$$

满足要求，此处未考虑栈道上铺板的有利作用。

b. 抗剪验算

最大支点剪力设计值 V=[1.2×（0.36+0.68+0.73）+1.4×8.0] ÷2×4=26.7kN

$$\frac{VS}{It_w} = \frac{26.7 \times 10^3 \times (200 \times 12 + 8 \times 88) \times 86.7}{4.77 \times 10^7 \times 8} = 18.9 < 180N/mm^2$$

满足要求，此处未考虑栈道上铺板的有利作用。

本设计采用角钢和螺栓将栏杆立柱固定在 H 型钢纵梁上，栓孔距支座处较近，对 H 型钢纵梁抗剪能力有削弱，此处按规范进行纵梁实际的抗剪承载能力抗剪验算。剪力设计值 V=26.7×190÷200=25.8kN，M16 螺栓挖孔 18mm。

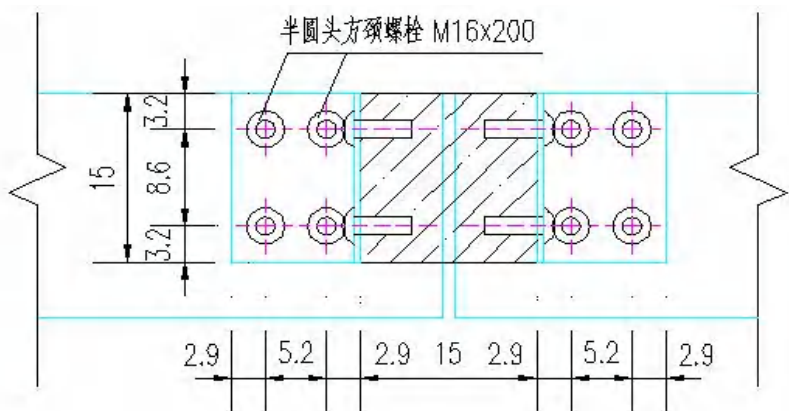


图 4.1 纵梁与栏杆连接构造图

$$\frac{3V}{2bh_n} \left(\frac{h}{h_n} \right) = \frac{3 \times 25.8 \times 10^3}{2 \times 200 \times 164} \times \left(\frac{200}{164} \right) = 1.44 \text{ N/mm}^2 < 1.58 \text{ N/mm}^2$$

此处未考虑栈道上铺板的有利作用，满足规范要求。

c. 挠度验算

此处未考虑栈道上铺板的有利作用，选取中梁为设计 H 型钢纵梁。

$$w = \frac{5ql^4}{384EI} = \frac{5 \times (0.36 + 0.68 + 0.73 + 8) \div 2 \times 10^3 \times 4000^4}{384 \times 206000 \times 4.77 \times 10^7} = 15.3 \text{ mm}$$

规范要求挠度限值 $[w] = 1/250 = 4000/250 = 16 \text{ mm}$ ，满足规范要求。

3、H 型钢挑梁

H 型钢挑梁按悬臂梁计算，采用 Q345B 钢材，抗弯 $f = 310 \text{ N/mm}^2$ ，抗剪 $f_v = 180 \text{ N/mm}^2$ ，

弹性模量 $E = 206000 \text{ N/mm}^2$ 。

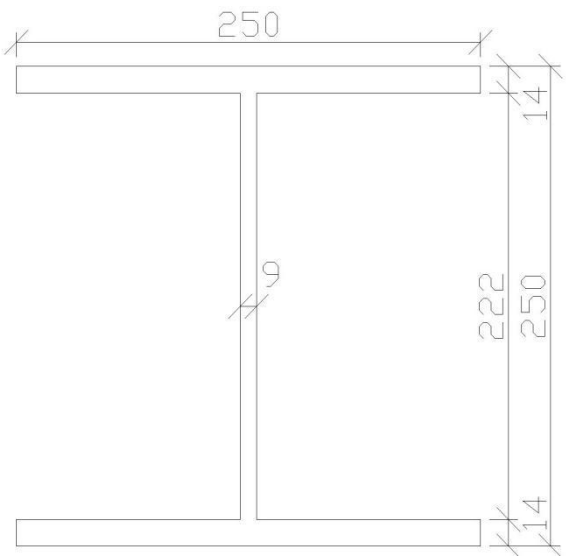


图 4.2 挑梁构造断面图

a. 抗弯强度验算

悬臂端弯矩设计值 $M = [1.2 \times (0.36 + 0.68 + 0.73 + 0.51) + 1.4 \times 8.0] \times 4 \times$

$0.9 = 50.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$\frac{M}{\gamma_x W_{nx}} = \frac{50.2 \times 10^6}{1.05 \times 8.67 \times 10^5} = 55.2 \text{ N/mm}^2 < 310 \text{ N/mm}^2 \text{ 满足要求。}$$

b. 抗剪强度验算

$$\frac{VS}{It_w} = \frac{55.8 \times 10^3 \times (250 \times 14 + 9 \times 110) \times 110}{108000000 \times 9} = 28.4 \text{ N/mm}^2 < 180 \text{ N/mm}^2 \text{ 满足要求。}$$

c. 局部承压强度验算

在纵梁和挑梁连接处，挑梁受集中荷载，按规范验算局部承压强度。

$$\frac{\varphi F}{t_w l_z} = \frac{1.0 \times 55.8 \times 10^3}{9 \times 250} = 24.8 \text{ N/mm}^2 < 310 \text{ N/mm}^2$$

d. 整体稳定性验算

$l_1/b_1 = 180/20 = 9$ ，荷载作用在上翼缘，按规范可不计算挑梁的整体稳定性。

e. 挠度验算

$$w = \frac{qL^4}{8EI} = \frac{55.8 \times 10^3 \times 1800^3}{8 \times 206000 \times 108000000} = 1.8\text{mm}, \text{ 满足规范要求}$$

f. 预拱度设置

按规范恒载加 1/2 活载的计算挑梁端部挠度。

$$w = \frac{qL^4}{8EI} = \frac{(0.36 + 0.68 + 0.73 + 0.51 + 0.5 \times 8) \times 4 \times 10^3 \times 1800^3}{8 \times 206000 \times 108000000} = 0.8\text{mm}$$

变形较小，经考虑可不设置预拱度。

g. 抗倾覆验算

首先，我们作如下假定：（1）挑梁的锚固部分有足够长度，以满足变形计算要求；（2）变形以外部分梁崖壁间

无相对变形；（3）崖壁为一理想刚体，受力后不变形；（4）梁崖壁结合面无拉力，即不考虑砂浆在梁崖壁结合面的粘结力。根据以上假定，挑梁嵌固部分可简化为一端固定，另一端为简支的梁。为区分内外梁，我们将挑出部分称为外挑梁，把为简化计算嵌固部分所设的简化梁称为等效梁。

由材料力学理论，对栈道挑梁的内力进行理论分析。

符号规定：荷载 q 一向下为正；剪力 V 一使截面左边逆时针转动为正；弯矩 M 一使截面左边顺时针为正；转角 θ 一使截面左边逆时针转动为正； f 一向上为正。

由材料力学理论，可得如下各积分：

$$V_{(x)} = \int_0^x q dx = qx + V_0 \quad (a)$$

$$M_{(x)} = \int_0^x V_{(x)} dx = \frac{qx^2}{2} + V_0 x + M_0 \quad (b)$$

由于变形以外部分上部荷载作用与墙体相对平衡，梁内不存在弯矩，故等效梁左

端 0 点弯矩为 0。

$$M(x=0)=0 \text{ 可得: } M_0=0 \quad (c)$$

又由于外挑梁端部弯矩 M_1 作用于等效梁右端 A 点，故等效梁右端 A 点弯矩为 M_1

$$\text{由 } M(x=L)=M_1 \text{ 可得: } V_0 = \frac{M_1}{L} - \frac{qL}{2} \quad (d)$$

$$\text{则 } V_0 = qx + \frac{M_1}{L} - \frac{qL}{2} \quad (1)$$

$$M_{(x)} = \frac{qx^2}{2} + \left(\frac{M_1}{L} - \frac{qL}{2} \right) x \quad (2)$$

$$\theta_{(x)} = -\frac{1}{EI} \int_0^x M_{(x)} dx = -\frac{1}{EI} \left[\frac{qx^3}{6} + \left(\frac{M_1}{L} - \frac{qL}{2} \right) \frac{x^2}{2} \right] + \theta_0 \quad (e)$$

由于变形以外部分梁保持水平，故等效梁左端 0 点转角为 0

$$\text{由 } \theta_{(x=0)} = 0 \text{ 可得: } \theta_0 = 0 \quad (f)$$

$$\theta_{(x)} = -\frac{1}{6EI} \left[qx^3 + 3 \left(\frac{M_1}{L} - \frac{qL}{2} \right) x^2 \right] \quad (3)$$

$$f_{(x)} = \int_0^x \theta_{(x)} dx = -\frac{1}{6EI} \left[\frac{qx^4}{4} + \left(\frac{M_1}{L} - \frac{qL}{2} \right) x^3 \right] + f_0 \quad (g)$$

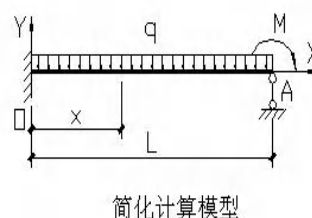
由于变形以外部分梁与下部崖壁无相对变形，故变形以外部分梁保持水平，即等效梁左端 0 点变形为 0。

$$\text{由 } f_{(x=0)} = 0 \text{ 可得: } f_0 = 0 \quad (h)$$

$$f_{(x)} = -\frac{1}{6EI} \left[\frac{qx^4}{4} + \left(\frac{M_1}{L} - \frac{qL}{2} \right) x^3 \right] \quad (4)$$

以上 (1)–(4) 即等效梁的内力及变形的表达式，但式 L 为未知，可由变形的另一

边界条件 $f(x=L)=0$ 求得：



$$L = 2\sqrt{M_1 / q} \quad (5)$$

在本例中 $M1 = 50.2kN \bullet m$

$q = 0.36 + 0.68 + 0.73 + 0.51 + 8.0 = 10.28kN$

$L = 2\sqrt{M1/q} = 2\sqrt{\frac{50.2}{10.28}} = 4.4m$

锚固长度计算值为 4.4 米，设计取值 5.0m，在实际施工中根据现场拉拔试验的实际值进行调整。

4、栏杆

栏杆立柱截面尺寸为 150×150mm，间距按最大 2.5m 计，高度 1.2m，防腐木材强度等级 TC17，栏杆水平荷载为 2.5kN/m²，立柱可看作和 H 型钢纵梁固结，按悬臂梁考虑。悬臂端最大弯矩设计值 $M=2.5 \times 2.5 \times 1.05=6.6kN \bullet m$

$$\frac{M}{Wn} = \frac{6.6 \times 10^6 \times 6}{150 \times 150^2} = 11.7N/mm^2 < 16.83N/mm^2 \text{ 满足要求。}$$

5、纵梁与挑梁连接

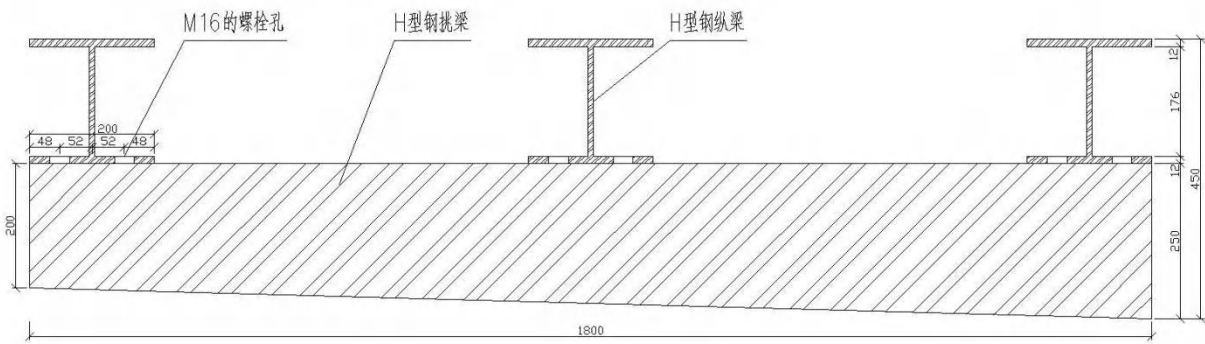
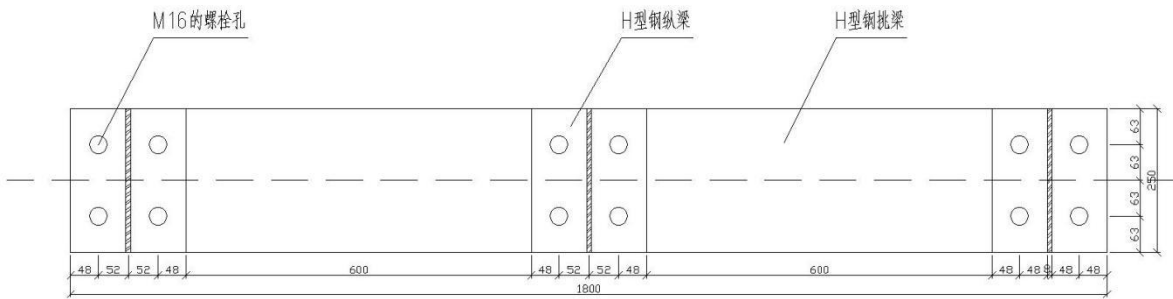


图 4.3 木纵梁与挑梁连接图

为防止纵梁的伸缩变形，H 型钢纵梁之间设 10mm 的伸缩缝，与挑梁的连接方式：在 H 型钢挑梁上翼缘板上面和 H 型钢纵梁下翼缘板上面打螺栓孔，采用 M16 螺栓连接。纵梁承受栏杆的水平荷载，现就纵梁的水平抗推作验算，查相关规范，M16 的螺栓的抗拉强度设计值可取 215 N/mm²，则每根螺栓抗拉力 N 设计值为 $3.14 \times 16 \times 16 \div 4 \times 215=43206.4N=43.26kN$ 。

水平抗推承载力设计值为 $4 \times 43.26=173.1kN > 2.5 \times 5=12.5kN$

纵梁的水平抗推力满足要求，但考虑随着螺栓会在荷载作用下松动，建议在栈道两侧的 H 型钢挑梁和 H 型钢纵梁交界处加焊钢板。

6、栏杆立柱和木纵梁连接

为抵抗栏杆的水平推力，栏杆立柱与木纵梁连接采用半圆头方颈螺栓 GB12-88 M16×200mm，在木纵梁的下部适当开槽，安装螺栓配套的螺母，一侧螺栓受拉，具体连接如下。图查相关规范，C 级 M16 螺栓抗拉设计值 $f_t^b=170N/mm^2$ ，抗剪设计值 $f_v^b=140N/mm^2$ 。

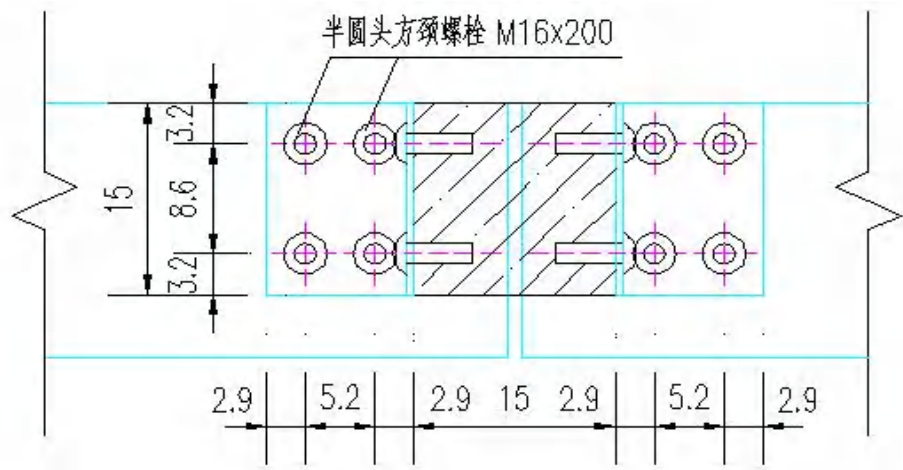


图 4.4 栏杆立柱与木纵梁连接图

a. 抗拉验算

栏杆立柱悬臂端最大弯矩设计值 $M=2.5\times2.5\times1.05=6.6\text{ kN}\cdot\text{m}$ ，每个螺栓抗拉力 F 。

$$F=\frac{M}{4\Sigma d}=\frac{6.6}{4\times0.086}=19.2\text{ kN}<3.14\times16\times16\div4\times170\div1000=34.2\text{ kN 满足要求}$$

（三）计算结果

对栈道所有构件进行承载能力极限状态和正常使用极限状态计算，包括：挑梁及连接处强度、挑梁变形、木纵梁自身及连接处强度、木纵梁变形、栏杆立柱强度等，经计算，上述各项内容均满足要求，设计安全储备较高，设计满足要求。同时栈道施工参数根据前期试验和效果评估进行调整和复核，在项目建设过程中逐步实施。

四、主要工程数量

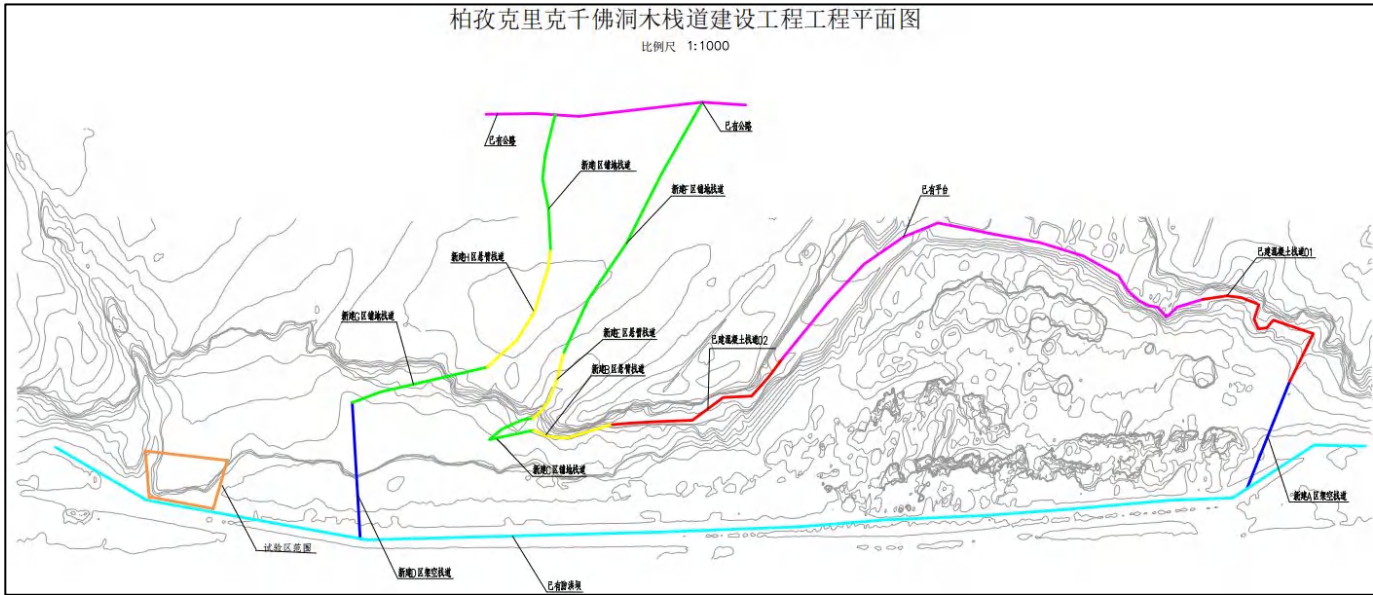


图 4.5 柏孜克里克木栈道建设工程平面图

表 1.新疆柏孜克里克栈道工程数量汇总表					
序	工程项目	规格	单位	数量	备注
1	钻孔	φ400	m	212	
2	注浆	M30 水泥砂浆	m ³	32.56	
3	挑梁	Q345 HW250 x 250a	m	117.05	
4	纵梁	Q345 HW200 x 200a	m	339.72	
5	方管立柱	150 x 150 x 8	t	10.8	
6	方管横梁	150 x 150 x 8	t	5.4	
7	方钢	150 x 150	m	409.5	
8	耐候钢矩管	50 x 50 x 5	m	1544.52	
9	热镀锌管矩管	30 x 30 x 5	m	505.82	
10	铺装板	2m x 5cm 厚的防腐木	m ²	1616.34	TC13
11	栏杆	150 x 150mm 防腐木栏	m ³	60.41	TC17
12	螺栓	M16	套	1920	
13	半圆头方颈螺栓	M16 x 200mm	套	1520	

14	栏杆板	2.5m×1.2m×5cm	楦	210	
15	混凝土放大基础	C30	m ³	17.2	
16	梁垫	C30	m ³	10.4	
17	钢筋	HRB335 φ 16	t	0.7	
18	钢筋	HRB335 φ 12	t	0.8	
19	角钢	L80×8	t	3.1	
20	脚手架		m ²	15000	
21	防锈漆		m ²	340	
22	土方	基础挖方	m ³	38.4	
23	土方	基础填方	m ³	29.9	
24	防洪坝栏杆加固	栏杆和栏板病害部位 加固处理	m	920	
25	防洪坝栏杆板加固		楦	688	

表 2. 新疆柏孜克里克栈道工程数量分项表				
	材质		单位	工程量
A 区架空栈 道	GL（150 方钢）		m	65.96
	50*50*5 耐候钢矩管		m	197.96
	30*30*5 热镀锌管矩管		m	52.74
	木材铺装板（TC13）		m²	52.58
	木栏杆（1.25*0.15 TC17）			
B 区架空栈 道	TL（01-14）Q345B 钢材		m	25.25
	ZL（01-14 段）		m	138.81
	锚孔	钻孔（φ 400）	m	70.00

		注浆（M30）水泥砂浆配比为 1:0.45；	m²	8.82
		H 型钢（250×250×9×14）	根	14
	木栏杆（1.25*0.15 TC17）		m³	3.47
	木材铺装板（TC13）		m²	82.76
C、E 区栈道	GL（150 方钢）		m	113.66
	50*50*5 耐候钢矩管		m	350.88
	30*30*5 热镀锌管矩管		m	87.696
	TL（14-30）Q345B 钢材		m	30.6
	ZL（14-30 段）		m	38.61
	锚孔	钻孔（φ 400）	m	85
		注浆（M30）水泥砂浆配比为 1:0.45；	m²	10.71
		H 型钢（250×250×9×14）	根	17
	木栏杆（1.25*0.15 TC17）		m³	0.97
	木材铺装板（TC13）		m²	119.67
C1 区铺地 栈道	GL（150 方钢）		m	22.20
	50*50*5 耐候钢矩管		m	66.64
	30*30*5 热镀锌管矩管		m	18.00
	木栏杆（1.25*0.15 TC17）		m³	8.96

	木材铺装板（TC13）		m²	233.73
D 区架空栈 道	GL（150 方钢）		m	103.18
	50*50*5 耐候钢矩管		m	309.68
	30*30*5 热镀锌管矩管		m	82.48
	木材铺装板（TC13）		m²	85.62
	木栏杆（1.25*0.15 TC17）			
C2 区栈道	木材铺装板（TC13）		m²	176.98
	木栏杆（1.25*0.15 TC17）		m³	7.36
E 区栈道	GL（150 方钢）		m	103.84
	50*50*5 耐候钢矩管		m	309.68
	30*30*5 热镀锌管矩管		m	178.63
	木栏杆（1.25*0.15 TC17）		m³	2.03
	木材铺装板（TC13）		m²	229.08
	TL（19-30）Q345B 钢材		m	30.6
	ZL（平行段）		m	81.15
	锚孔	钻孔（Φ400）	m	85
		注浆（M30）水泥砂浆配比为 1:0.45；	m²	10.71
		H 型钢（250×250×9×14）	根	17
F 区铺地栈	木材铺装板（TC13）		m²	185.17

道	木栏杆（1.25*0.15 TC17）		m³	19.46
G 区栈道	木材铺装板（TC13）		m²	86.35
	木栏杆（1.25*0.15 TC17）		m³	3.62
F 区铺地栈 道	木材铺装板（TC13）		m²	211.76
	木栏杆（1.25*0.15 TC17）		m³	8.88
H 区栈道	GL（150 方钢）		m	103.84
	50*50*5 耐候钢矩管		m	309.68
	30*30*5 热镀锌管矩管		m	86.27
	木栏杆（1.25*0.15 TC17）		m³	1.09
	木材铺装板（TC13）		m²	127.42
	TL（19-30）Q345B 钢材		m	30.6
	ZL（平行段）		m	81.15
	锚孔	钻孔（Φ400）	m	35
		注浆（M30）水泥砂浆配比为 1:0.45；	m²	4.41
		H 型钢（250×250×9×14）	根	7
I 区栈道	木材铺装板（TC13）		m²	110.84
	木栏杆（1.25*0.15 TC17）		m³	4.58

五、试验区

挑梁荷载试验

1、试验的目的

通过试验确定栈道悬臂梁崖体内锚固的参数。

2、试验部位

依据石窟寺地质条件、栈道布设位置和游客承载量的要求，并且要远离对石窟的影响范围，选取适宜的工程试验部位。详见栈道总平面图布置图 ZDGC03。

3、试验孔位布置及有关试验参数

本次试验要求在砂质粉土层中做一组拉拔试验，共计 3 孔，锚固段为 5m、6m、7m，3 孔试验必须为破坏试验。对试验孔位的选择应由监理工程师在现场根据实际地形条件确定。

4、试验要求

（1）加载方法：

加荷方式应采用分级维持荷载的方法，加荷等级采取 6 级，荷载量测精度不应低于最大荷载的±1%。总荷载为 40KN。具体加荷要求和观测要求参照相关的规范制定。

（2）挑梁破坏标准：

结构在外荷载的作用下会发生弯曲，产生竖向位移即挠度，如果荷载不断增加，挠度也会随着增大，最终导致梁破坏断裂。因此，挠度作为判断结构是否处于安全状态的重要指标之一。当出现下列情况之一时，可终止试验：

- 1）栈道梁周围德岩土体明显发生破坏挤出，周围岩土出现明显的裂隙持续发展；
- 2）本级荷载的挠度大于前级荷载沉降量的 5 倍，荷载与挠度曲线出现明显陡降；
- 3）在某级荷载下 24 小时挠度变化速率不能达到相对稳定标准；

4）总挠度超过了功能使用极限；

5、报告编写的有关要求

试验报告应反映出挑梁总变形与荷载的关系。

六、文物保护临时措施

1. 围挡搭建：在文物保护区域周边搭建坚固的围挡，高度不低于 2 米，采用镀锌方管作为骨架，搭配彩钢板，确保围挡的稳定性和防风性能，防止无关人员进入施工区域对文物造成破坏。

2. 警示标识设置：在围挡周边及关键路口设置明显的警示标识，如 “文物保护区域，禁止入内” “施工重地，注意安全” 等，标识采用反光材料制作，保证在夜间也清晰可见。

七、防晒遮阳设计

对于大面积的文物露天展示区域或施工场地，搭建大型遮阳棚是较为有效的方式。遮阳布选用具有高防晒系数的遮阳布，其紫外线防护系数（UPF）应不低于 50+，能有效阻挡紫外线对文物的损害。遮阳棚可采用装配式结构，便于安装和拆卸，不影响文物工程的后续开展。其形状可根据场地形状和文物分布进行设计，如矩形、多边形等，确保全面覆盖需要遮阳的区域。

每月对遮阳设施进行检查，查看遮阳布是否有破损、老化，骨架是否有变形、松动等情况。如发现问题，及时进行修复或更换；定期对遮阳设施进行清洁，去除表面的灰尘、污渍等，保持遮阳效果。对于金属骨架，可定期涂抹防锈漆，延长使用寿命。

八、施工便道设计

1. 便道规划：结合施工场地和文物保护区域的地形，规划合理的施工便道路线，尽量减少对周边环境和文物的影响。便道宽度不小于 4 米，保证施工车辆和人员的正常通行。
2. 路面铺设：便道基层采用级配碎石进行铺设，厚度不小于 20 厘米，然后在上
面铺设水泥稳定层，厚度不小于 15 厘米，最后浇筑混凝土路面，厚度不小于 20 厘
米，确保便道的承载能力和稳定性。

九、脚手架搭设

1. 脚手架搭建：根据文物保护施工的需求，搭建符合安全标准的脚手架。脚手架
采用扣件式钢管脚手架，钢管选用外径 48.3 毫米、壁厚 3.6 毫米的 Q345 级钢材，
扣件采用可锻铸铁制作。脚手架的搭建要严格按照设计方案进行，确保结构稳固。
1. 安全防护措施：在脚手架外侧满挂密目安全网，防止人员和物体坠落。在脚手
架上设置操作平台，平台铺满脚手板，并用铁丝固定，确保施工人员的操作安全。

十、防洪度汛

建立 24 小时雨情、水情监测机制，与当地气象部门、水利部门保持密切联系，
实时获取最新的气象预报和水情信息。在文物工程周边设置雨量监测站和水位监测点，
采用自动监测设备和人工巡查相结合的方式，定时记录雨量和水位变化情况。

制定预警标准和发布流程，当雨量达到暴雨预警级别或水位接近警戒水位时，立
即通过短信平台、广播、警报器等多种方式向文物工程施工人员、文物保护工作人员

及周边居民发布预警信息。明确预警信息的内容，包括洪水可能到达的时间、影响范
围和应对措施等。

成立应急抢险小组，成员包括文物保护专业人员、工程技术人员和经过防汛培训
的施工人员。明确各小组的职责和分工，如抢险救援组负责现场抢险作业，文物保护
组负责对文物本体进行紧急保护和转移，后勤保障组负责物资供应和现场协调。

当洪水来袭时，抢险救援组迅速按照预定方案开展抢险工作。在文物工程周边堆
砌防汛沙袋，形成临时防洪堤，阻挡洪水侵入；启动排水泵，加大排水力度，降低施
工场地内的积水深度。文物保护组根据文物的珍贵程度和易损性，对重要文物采取临
时加固、包装转移等保护措施，确保文物安全。

十一、材料要求

1. 木材：选用经过真空加压防腐处理的樟子松，防腐剂采用 ACQ（碱性铜季铵盐）
或 CCA（铜铬砷），符合国家相关环保和防腐标准，确保木材在户外环境下的耐久性。
木材的含水率控制在 18% 以内，防止木材变形和开裂。
2. 连接件：不锈钢连接件采用 304 不锈钢材质，符合 GB/T 3280 - 2015 标准，
具有良好的耐腐蚀性和强度。金属地桩采用热镀锌钢管，镀锌层厚度不小于 80 μ m，
防止钢管生锈。
3. 混凝土：混凝土基础采用 C20 及以上强度等级的商品混凝土，符合 GB/T
14902 - 2012 标准，确保基础的承载能力。

十二、质量标准

1. 基础工程：混凝土基础的强度经现场试块检测，达到设计强度等级。基础的平面位置偏差不超过 $\pm 50\text{mm}$ ，顶面标高偏差不超过 $\pm 20\text{mm}$ 。地桩的垂直度偏差不超过 1%，入土深度符合设计要求。
2. 龙骨安装：龙骨的间距偏差不超过 $\pm 20\text{mm}$ ，连接件安装牢固，无松动现象。主龙骨的水平度偏差不超过 3mm/m ，直线度偏差不超过 $5\text{mm}/10\text{m}$ 。
3. 面板铺设：防腐木地板面板的拼接紧密，高低差不超过 0.5mm ，表面平整度误差不超过 $2\text{mm}/2\text{m}$ 。伸缩缝宽度符合设计要求，均匀一致。
4. 栏杆安装：栏杆高度偏差不超过 $\pm 10\text{mm}$ ，栏杆立柱的垂直度偏差不超过 2mm/m ，横杆的水平度偏差不超过 3mm/m 。栏杆整体牢固，无晃动现象，榫卯连接紧密，螺栓紧固。
5. 整体验收：木栈道整体结构稳定，经荷载试验检测，满足设计承载能力要求。外观整洁美观，木材表面光滑，无毛刺、裂缝等缺陷，与周边环境协调一致。

十三、施工注意事项

（一）放线注意事项：

- 1、悬臂栈道部分工程施工放线，应以工程平面图为主，结合现场实际情况进行放线，当测放位置与现场实际不符时，必须及时通知监理及设计单位根据现场实际进行调整。
- 2、栈道的挑梁、铺装面板、扶手栏杆等主体工程，以平面图及断面图所提供的

资料为主，结合现场实际情况进行放线，确保主体工程位置与原栈道、洞窟位置情况相符。

- 3、铺地架空栈道以现场实际为准，根据现场实际地形进行放线。

（二）其他注意事项

（1）人员防护：施工人员必须佩戴安全帽、安全带、防滑鞋等个人防护装备。在进行高空作业时，如挑梁安装、栏杆安装等，安全带应高挂低用，系挂在牢固可靠的地方，严禁挂在尖锐棱角的物体上。同时，在施工现场设置明显的安全警示标志，提醒施工人员和过往行人注意安全。

（2）设备安全：使用的吊车、电锯、电钻等机械设备，在施工前必须进行全面检查和调试，确保设备性能良好，安全防护装置齐全有效。吊车在吊运挑梁、木材等重物时，要严格遵守操作规程，设专人指挥，吊运区域内严禁站人。机械设备的操作人员必须持证上岗，严禁无证操作。

（3）施工现场管理：保持施工现场整洁有序，材料堆放整齐，道路畅通。在栈道施工区域周围设置防护围栏，防止无关人员进入施工现场。遇有恶劣天气，如暴雨、大风、大雾等，应立即停止施工，将施工人员和设备转移至安全地带。

（4）材料存放：木材应存放在干燥、通风良好的场地，避免受潮、淋雨和暴晒。木材底部应垫高，离地面不小于 20cm ，防止木材受潮腐朽。连接件等金属材料应存放在室内，避免生锈。不同规格和型号的材料应分类存放，并做好标识，便于取用。

（5）材料检验：严格按照规定对进场的木材、连接件等材料进行抽样检验，确保材料质量符合设计要求。对木材的含水率、强度、防腐性能等指标进行检测，对连接件的材质、规格、尺寸等进行检查。如发现材料质量不合格，应立即退场，严禁使

用在工程上。

（6）测量精度：测量放线是悬挑木栈道施工的关键环节，必须保证测量精度。使用的经纬仪、水准仪等测量仪器应定期校准，确保测量数据准确可靠。在测量过程中，要严格按照设计图纸进行操作，对栈道的位置、轮廓线、挑梁安装位置等进行精确测量和标记，避免出现偏差。

（7）基础质量：基础是悬挑木栈道的重要支撑结构，其质量直接影响栈道的稳定性和安全性。在基础施工过程中，要严格控制桩孔的深度、直径和垂直度，确保钢筋骨架的绑扎质量和混凝土的浇筑质量。基础施工完成后，应进行承载力检测，检测合格后方可进行下一步施工。

（8）连接质量：挑梁与基础、龙骨与挑梁、面板与龙骨、栏杆与龙骨之间的连接质量至关重要。焊接连接时，要保证焊缝饱满、牢固，无虚焊、漏焊等缺陷；螺栓连接时，要确保螺栓拧紧，扭矩符合设计要求。在连接部位，应采取有效的防腐措施，防止连接件生锈腐蚀。

（9）外观质量：在面板安装和栏杆安装过程中，要注重外观质量。面板铺设应平整、紧密，伸缩缝均匀一致；栏杆安装应垂直、牢固，扶手光滑无毛刺。对木材表面进行防腐处理时，要保证防腐剂涂刷均匀，木材色泽一致，无流坠、漏刷等现象。

（10）为保证悬臂栈道施工的有效性和可行性，建议避开雨季进行施工。

（11）施工中注意对文物本体的临时性保护，避免因施工对文物建筑造成一定的破坏。

（12）根据文物保护工程的特点与实施原则，在文物本体附近的各项工程措施施工完毕后须进行复旧处理，确保外观与周边环境协调一致。

（13）根据现场调查，本工程实施难度大，是特种工程作业，因此，为确保整个施工过程中人员、文物以及材料设备等的安全，施工前须进行各工程的专项施工组织设计，其中必须明确各项安全防护措施，务必保证施工安全。

（14）减少噪音污染：合理安排施工时间，对电锯、电钻等产生噪音的机械设备，采取有效的降噪措施，如安装消声器、设置隔音屏障等，减少对周边环境的影响。

（15）控制粉尘污染：在木材加工和混凝土浇筑等施工过程中，会产生粉尘污染。对木材加工区域进行封闭管理，设置吸尘设备，减少粉尘排放。在混凝土浇筑时，采用湿作业法，减少扬尘产生。

（16）废弃物处理：对施工过程中产生的废弃物，如木材边角料、废弃混凝土、包装材料等，要进行分类收集，妥善处理。可回收利用的废弃物，应进行回收再利用；不可回收利用的废弃物，应按照环保要求进行处置，避免随意丢弃，污染环境。

柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程施工图纸目录

序号	图号	图纸名称	序号	图号	图纸名称
1	建施-01	栈道设计说明	16	建施-016	新建 C、E 区栈道立面图
2	建施-002	栈道总立面图	17	建施-017	新建 D 区架空栈道立面图
3	建施-003	栈道总平面图	18	建施-018	新建 F 区铺地栈道立面图
4	建施-004	新建 A 区架空栈道平面图	19	建施-019	新建 G 区铺地栈道立面图
5	建施-005	新建 B 区悬臂栈道平面图	20	建施-020	新建 H 区悬臂栈道立面图
6	建施-006	新建 C1 区铺地栈道平面图	21	建施-021	新建 I 区铺地栈道立面图
7	建施-007	新建 C、E 区栈道平面图	22	建施-022	栈道平面图
8	建施-008	新建 D 区架空栈道平面图	23	建施-023	挑空栈道连接节点图
9	建施-009	新建 F 区铺地栈道平面图	24	建施-024	栈道平、立面图
10	建施-010	新建 G 区铺地栈道平面图	25	建施-025	架空踏步支墩平、立面图
11	建施-011	新建 H 区悬臂栈道平面图	26	建施-026	锚杆结构图
12	建施-012	新建 I 区铺地栈道平面图	27	建施-027	栈道平台结构图
13	建施-013	新建 A 区架空栈道立面图	28	建施-028	栈道踏步大样图
14	建施-014	新建 B 区悬臂栈道立面图	29	建施-029	栈道扶手大样图
15	建施-015	新建 C1 区铺地栈道立面图	30	建施-030	试验区锚杆结构图

栈 道 设 计 说 明

一.工程概述:

- 1.本工程设计图的设计依据甲方委托要求和合同规定以及国家文物局《关于柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程立项报告批复》(文物保函(2015)4088号)进行设计。
- 2.栈道采用钢木结构。设计基准年限:30年。
栈道构件必须进行定期维护和保养。便于正常使用。
- 3.结构安全等级:二级
- 4.栈道沿山体的走向及标高位置由甲方提供的地形图确定,栈道最低处应高于20年一遇的水位最高点至少1米以上。
- 5.人群荷载据《城市桥梁设计荷载标准》取 5.0 kN/m^2 ,栏杆水平荷载 2.5 kN/m^2 。
- 6.本图所注尺寸均以毫米为单位。

二.设计参考的规范:

- | | |
|------------------|-----------------|
| 《钢结构工程施工及验收规范》 | (GB50205—2001) |
| 《钢结构设计规范》 | (GB 50040—2003) |
| 《钢结构工程质量检验评定标准》 | (GB50221—2020) |
| 《建筑钢结构焊接规范》 | (JGJ50661—2011) |
| 《轻型钢结构设计规程》 | (DBJ08—68—97) |
| 《建筑防腐蚀工程施工及验收规范》 | (GB50212—2014) |
| 《木结构设计标准》 | (GB50005—2017) |
- 及岩土地质勘查报告。

三.材料

- 1.钢材:等边角钢、节点钢板、方钢及其它钢构件采用钢号为Q235的钢材,钢筋为 $\phi 16$ 、 $\phi 12$ 热轧带肋钢筋,其力学性能和化学成分应符合有关标准规定。
- 2.焊条:Q235手工焊时,采用E43XX型焊条,其性能应符合《碳钢焊条》(GB5140—85)的规定。

四.焊接要求:

- 1.焊缝质量按三级焊缝质量标准设计。
- 2.施焊时,应选择合理的焊接顺序,减少钢结构中产生的焊接应力和焊接变形。
- 3.凡图中未注明的角焊缝,其焊角尺寸hf应符合以下要求:
a.当 $t \leq 6\text{mm}$ 时, $hf=t$
b.当 $t > 6\text{mm}$ 时, $hf=t-1$
t 为较薄构件的厚度。焊缝长度等于构件搭接长度,且一律满焊,同时最小焊接长度不得小于80mm。
- 4.角焊缝表面应做成直线形或凹形。
- 5.在搭接连接中,搭接长度不得小于焊件较小厚度的5倍。

五.结构安装及除漆:

- 1.结构安装时,应采用适当措施,防止产生过大的弯扭变形。
- 2.结构安装就位后,应及时系牢支撑及其它联系构件,保证结构的稳定。
- 3.木板两端螺栓采用普通螺栓连接。
- 4.角钢与角钢之间采用搭接焊接,接长。
- 4.钢结构必须采取防锈措施,在构件彻底除锈后,涂防锈漆二道,灰色面漆两道。
- 5.木板表面涂沥青油膏。

六.本工程施工注意事项:

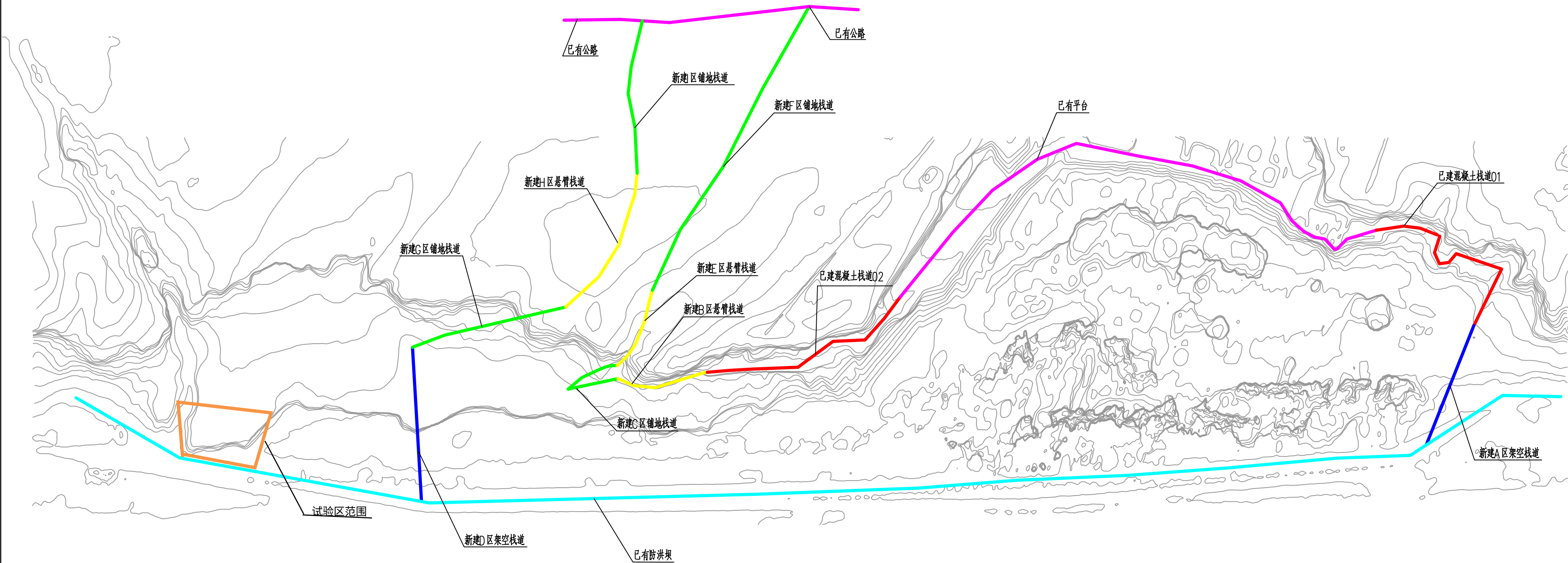
- 1.如发现山体岩石松散和裂缝应及时通知设计、勘察单位采取加强措施。
- 2.当栈道平面坡度大于1/10时,平面应采用梯段形式。栈道楼梯踏步宽不小于280mm,踏步高不大于150mm。
- 4.如栈道与山体岩石之间间距过大,影响安全时,必须适当调整栈道的线性以适应崖体的走势。
- 5.如栈道与山体岩石之间间距过大,致使该处水平钢筋长度大于1.5m小于2.0m时,其下再增设一根角钢斜撑以加强强度。
- 6.栈道面层平面铺设150mm宽木板,木板之间留10mm缝,木板两端用螺栓固定于角钢上,螺栓直径 $\phi 12$ 。个别地段栈道支撑可采用架空踏步支墩,即:用踏步支墩代替钢挑梁。(地段具体位置由甲方和设计单位共同确定)
- 9.立柱和栏杆采用木结构,立柱底端使用螺栓连接于型钢纵梁。

七.本设计所用材料规格质量检验标准和施工要求等除注明外本说明未尽处请严格按照国家现行有关规范及规程施工。

中铁西北科学研究院有限公司				工程名称	柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程	工程编号	
						图 号	建施—01
制 图	赵敬善	项目负责	王捷	图 名	栈道设计说明	比 例	1:100
复 核	任飞虎	审 核	吴志华			日 期	2025.01
专业负责	王捷	审 定	安品佳			第 01 张	共 30 张

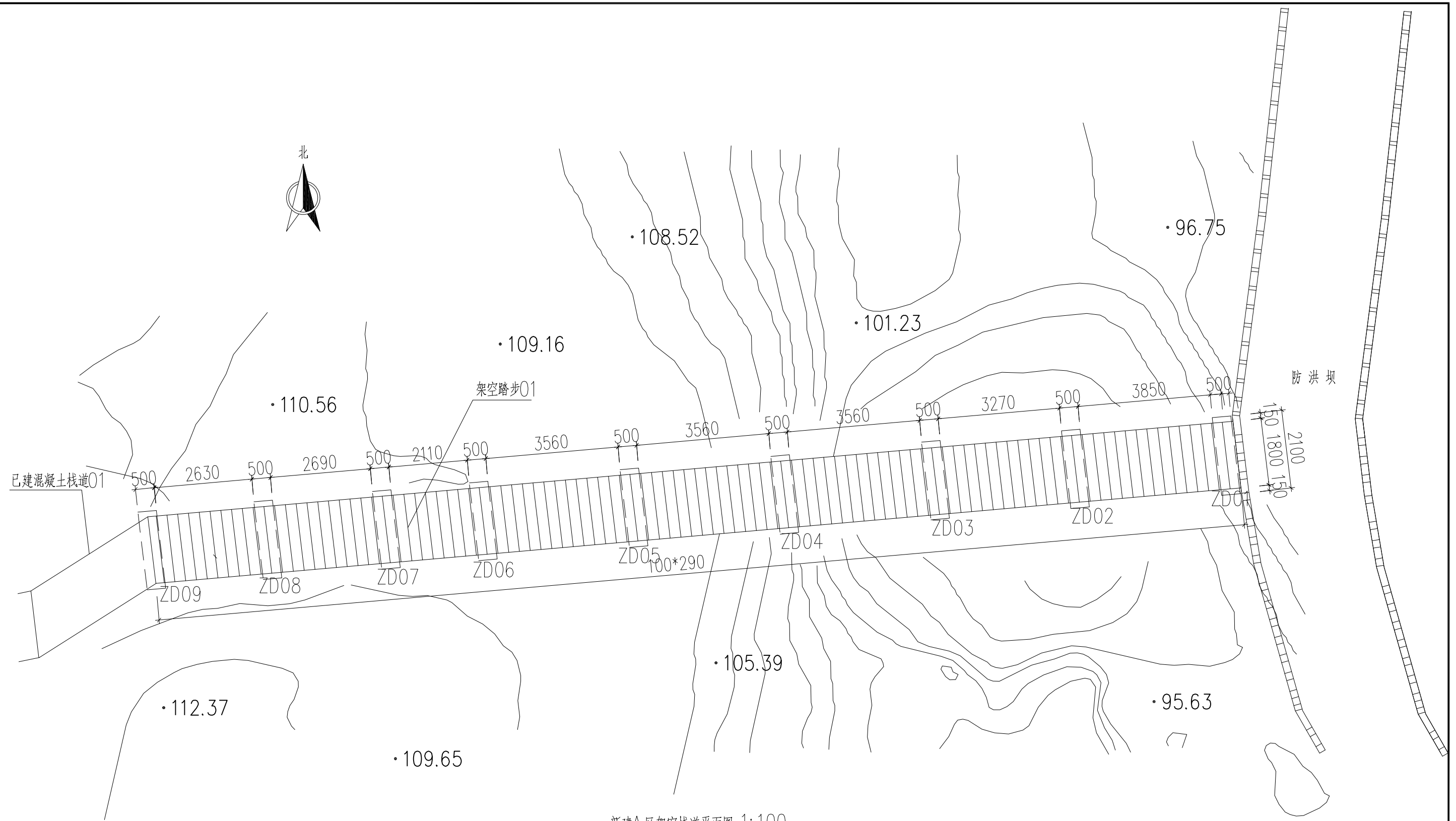
柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程工程平面图

比例尺 1:1000



栈道总平面图 1:1000

中铁西北科学研究院有限公司				工程名称	柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程	工程编号	
				图名	栈道总平面面图	图 号	建施—03
制 图	赵敬善	项目负责	王捷			比 例	1:100
复 核	任召虎	审 核	吴旭竹			日 期	2025.01
专业负责	王捷	审 定	朱琳			第 03 张	共 30 张

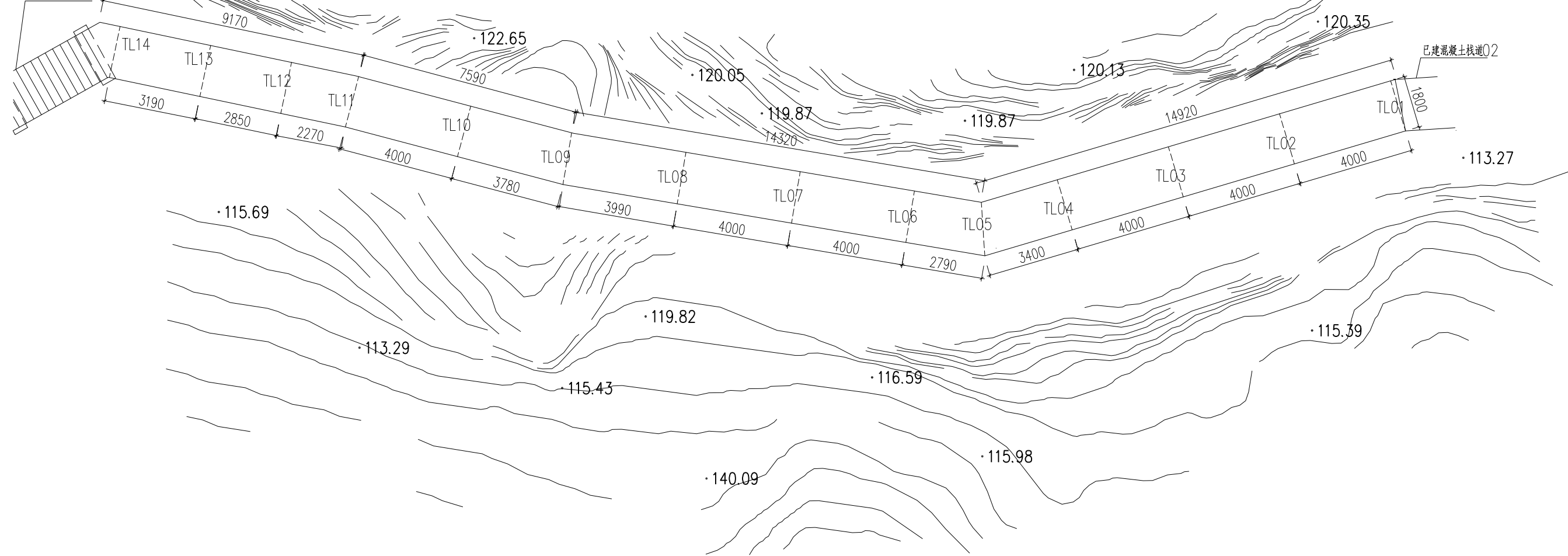


中铁西北科学研究院有限公司				工程名称	柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程	工程编号	
						图 号	建施—04
制 图	赵敬善	项目负责	王捷	图 名	新建A区架空栈道平面图	比 例	1:100
复 核	任子虎	审 核	吴花仰			日 期	2025.01
专业负责	王捷	审 定	安品康			第 04 张	共 30 张



北

新建C区铺地栈道



新建B区悬臂栈道平面图 1:100

中铁西北科学研究院有限公司

工程名称 柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程

工程编号

图号

建施—05

制图

赵敬善

项目负责

王捷

复核

任飞虎

审核

吴永华

专业负责

王捷

审定

安永康

图名

新建B区悬臂栈道平面图

比例

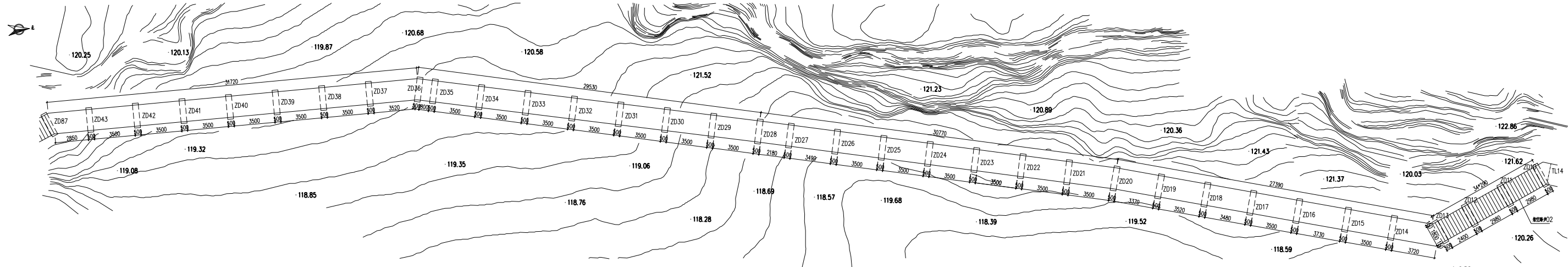
1:100

日期

2025.01

第 05 张

共 30 张



新建C1区镇地线平面图 1:100

中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程	工程编号	
制图	张永	项目负责	王捷	图号	建施-06
审核	王捷	审核	王捷	比例	1:100
专业负责	王捷	审定	王捷	日期	2025.01
新建C1区镇地线平面图				第 06 张	共 30 张



新建C区铺地栈道

ZD61

ZD60

ZD59

ZD58

ZD57

架空踏步03

架空踏步04

·115.36

·101.52

·93.84

·92.14

·104.83

·99.87

·113.46

118*290

ZD56

ZD55

ZD54

ZD53

ZD52

ZD51

ZD50

ZD49

ZD48

500

2980

500

2690

500

2690

500

3560

500

3560

500

3560

500

3560

500

3270

500

3850

500

50

2000

50

防洪坝

·109.68

·106.59

·102.45

·100.82

·93.04

·93.42

新建D区架空栈道平面图 1:100

中铁西北科学研究院有限公司

工程
名称

柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程

工程编号

图 号 建施—08

制 图 赵敬善

项目负责 王捷

图
名

新建D区架空栈道平面图

比 例 1:100

复 核 任子豪

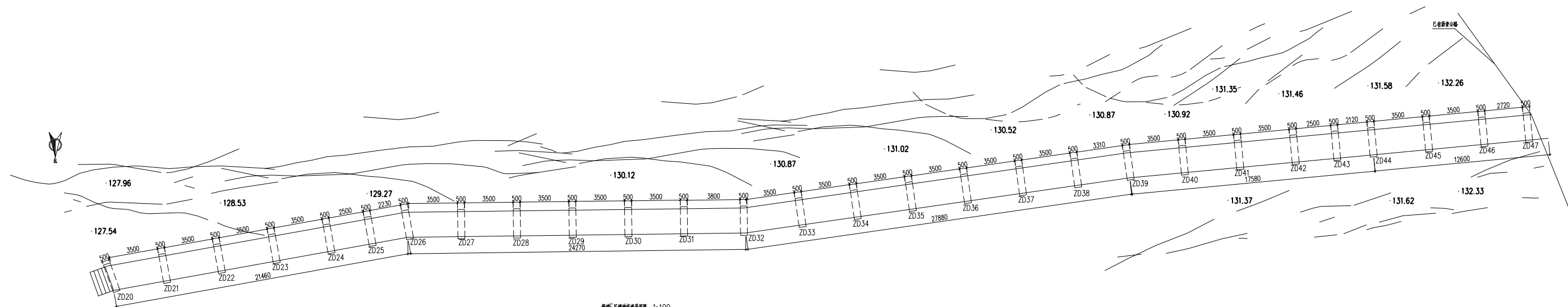
审 核 吴永华

日 期 2025.01

专业负责 王捷

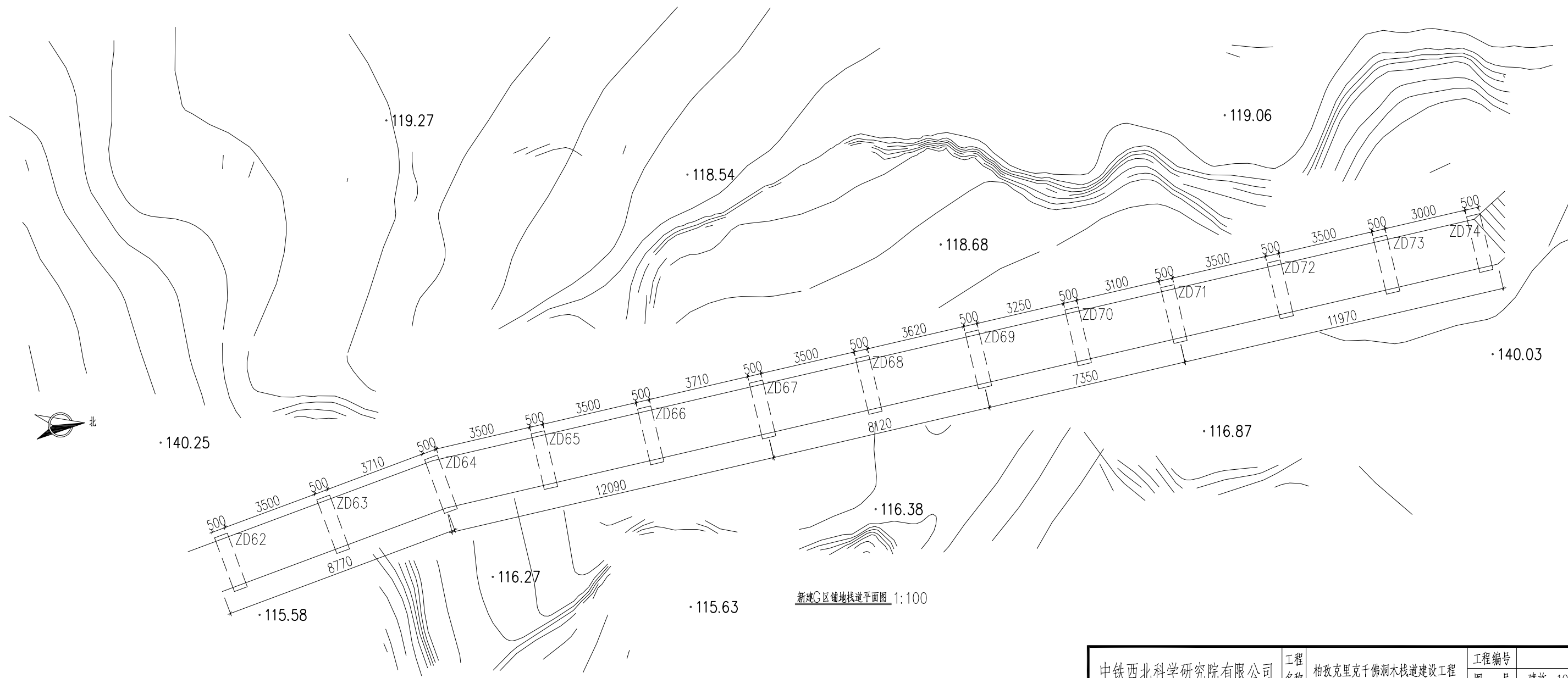
审 定 安永康

第 08 张 共 30 张



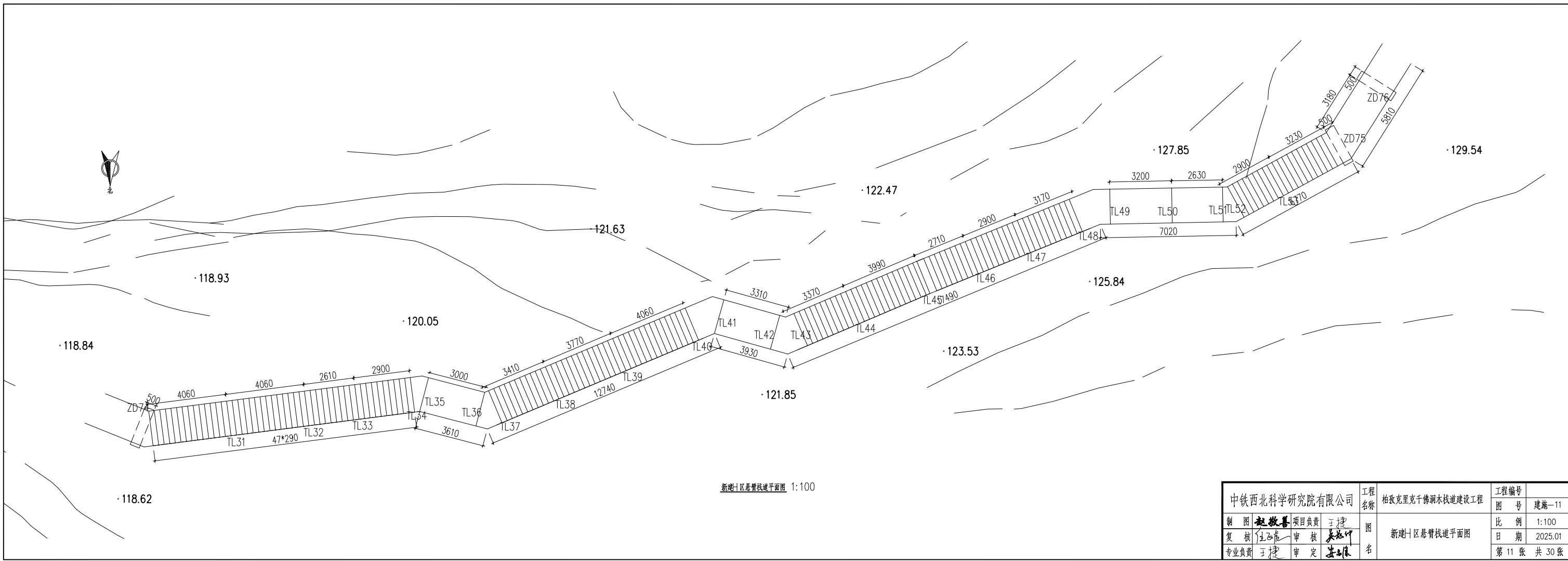
新建广区地铁线路平面图 1:100

中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	柏家克里克千佛洞木栈道建设工程	工程编号	
制 图	赵敬善	项目负责	王捷	图 号	建施-09
复 核	王捷	审 核	姜志叶	比 例	1:100
专业负责	王捷	审 定	姜志叶	日 期	2025.01
新建广区地铁线路平面图				第 09 张	共 30 张



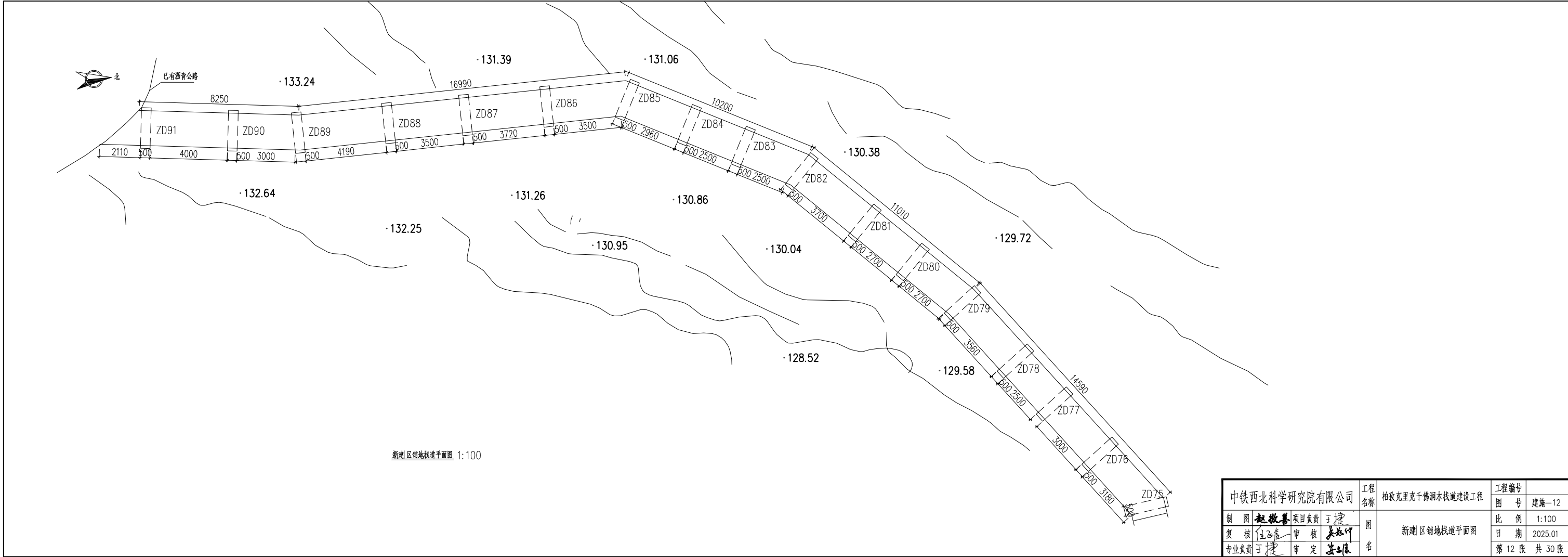
新建G区铺地栈道平面图 1:100

中铁西北科学研究院有限公司			工程名称	柏狄克里克千佛洞木栈道建设工程	工程编号	
制 图	赵敬善	项目负责人	王捷	新建G区铺地栈道平面图	图 号	建施-10
复 核	任子虎	审 核	吴花印		比 例	1:100
专业负责	王捷	审 定	安品隼		日 期	2025.01
					第 10 张	共 30 张



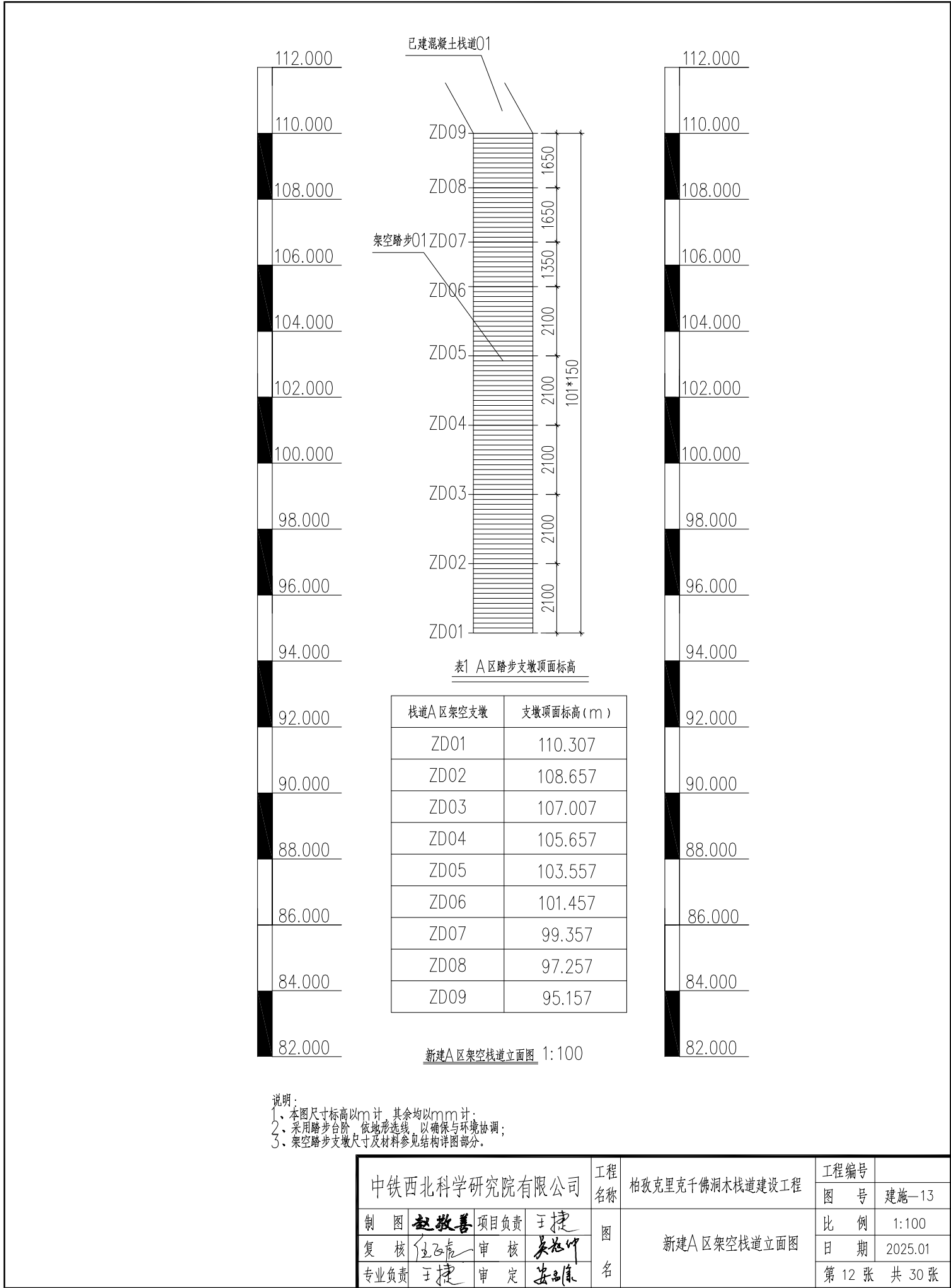
新建H区悬臂栈道平面图 1:100

中铁西北科学研究院有限公司				工程名称	柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程	工程编号	
制图	赵敬善	项目负责	王捷	图名	新建H区悬臂栈道平面图	图号	建施-11
复核	任志彪	审核	姜志华			比例	1:100
专业负责	王捷	审定	姜志华			日期	2025.01
						第 11 张	共 30 张



新建区铺地栈道平面图 1:100

中铁西北科学研究院有限公司				工程名称	柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程	工程编号	
制 图	赵敬善	项目负责	王捷	图 名	新建区铺地栈道平面图	图 号	建施—12
复 核	任正虎	审 核	姜永华			比 例	1:100
专业负责	王捷	审 定	姜永华			日 期	2025.01
						第 12 张	共 30 张



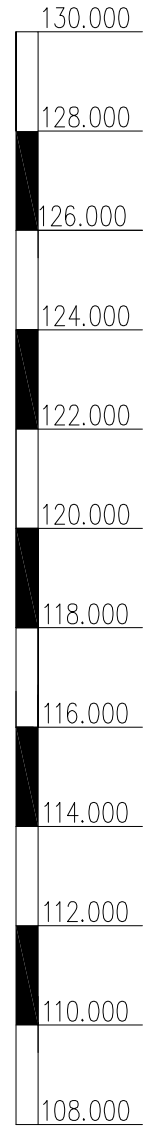
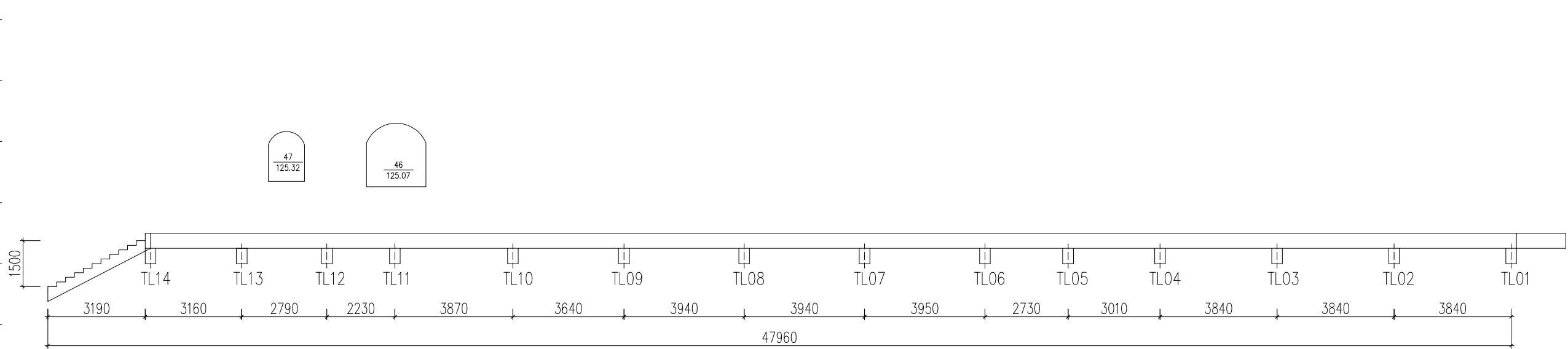
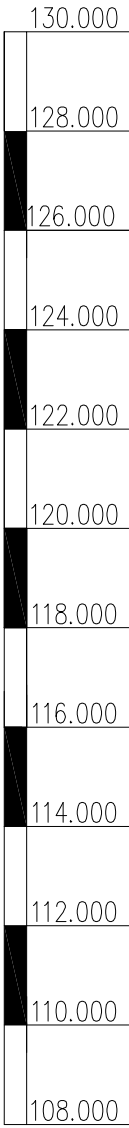


表2 B区挑梁根部顶面标高

栈道B区挑梁	挑梁顶面标高 (m)	栈道B区挑梁	挑梁顶面标高 (m)
TL01	122.251	TL08	122.251
TL02	122.251	TL09	122.251
TL03	122.251	TL10	122.251
TL04	122.251	TL11	122.251
TL05	122.251	TL12	122.251
TL06	122.251	TL13	122.251
TL07	122.251	TL14	122.251

说明：
1、本图尺寸标高以m计，其余均以mm计；
2、采用踏步台阶，依地形选线，以确保与环境协调；
3、栈道的坡度应考虑防滑和排水，步道的纵向坡度为2%至8%，
超过8%的路段设置为阶梯；
4、挑梁尺寸及材料参见结构详图部分。

新建B区悬臂栈道立面图 1:100

中铁西北科学研究院有限公司				工程名称	柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程	工程编号	
制 图	赵敬善	项目负责	王捷	图 名	新建B区悬臂栈道立面图	图 号	建施—14
复 核	任子虎	审 核	吴永华			比 例	1:100
专业负责	王捷	审 定	安永康			日 期	2025.01
						第 14 张	共 30 张

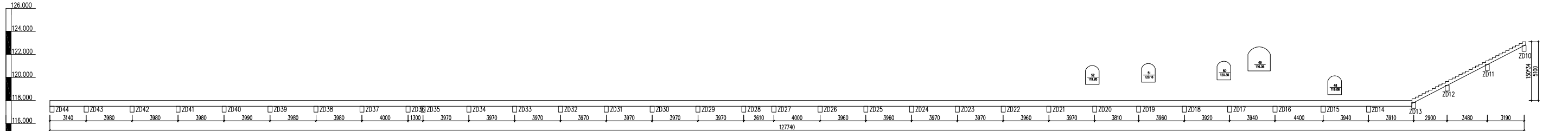


表3 C1区跨步支墩顶面标高

轨道C1区架空支墩	支墩顶面标高(m)	轨道C1区架空支墩	支墩顶面标高(m)	轨道C1区架空支墩	支墩顶面标高(m)	轨道C1区架空支墩	支墩顶面标高(m)
ZD10	122.712	ZD19	140.437	ZD28	140.437	ZD37	140.437
ZD11	121.062	ZD20	140.437	ZD29	140.437	ZD38	140.437
ZD12	119.262	ZD21	140.437	ZD30	140.437	ZD39	140.437
ZD13	140.762	ZD22	140.437	ZD31	140.437	ZD40	140.437
ZD14	140.437	ZD23	140.437	ZD32	140.437	ZD41	140.437
ZD15	140.437	ZD24	140.437	ZD33	140.437	ZD42	140.437
ZD16	140.437	ZD25	140.437	ZD34	140.437	ZD43	140.437
ZD17	140.437	ZD26	140.437	ZD35	140.437	ZD44	140.437
ZD18	140.437	ZD27	140.437	ZD36	140.437		

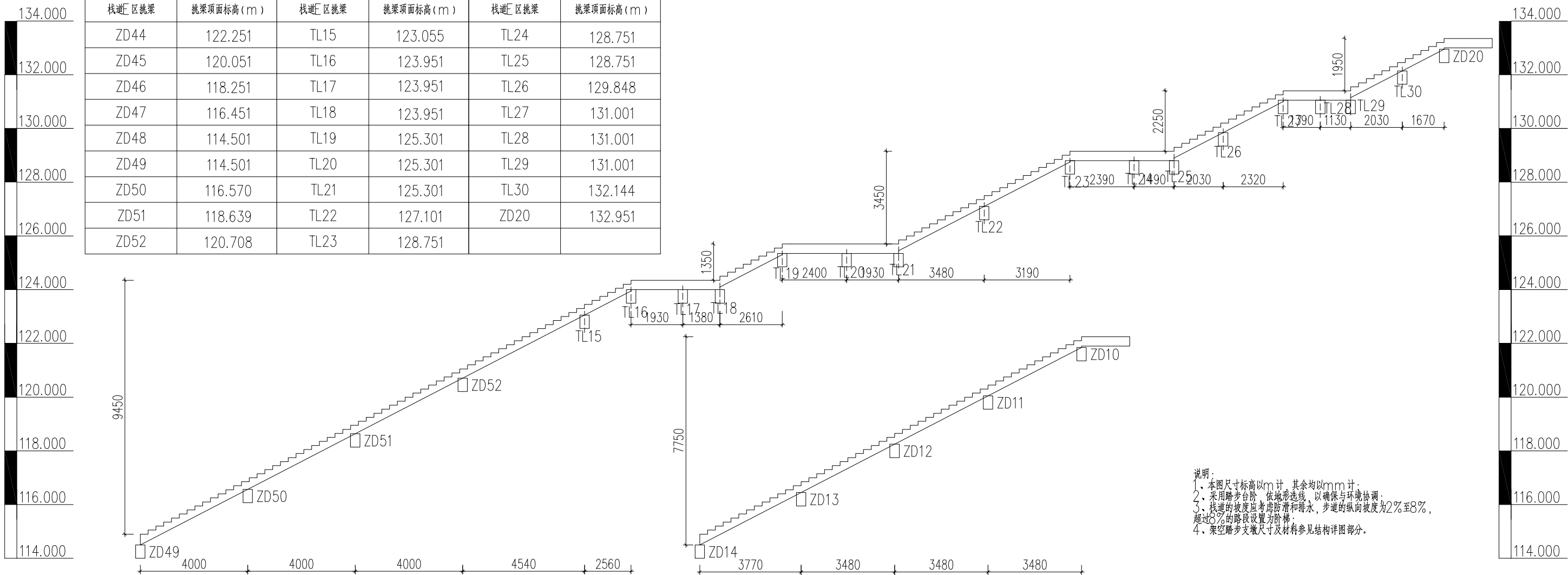
说明：
1、本图尺寸标高以m计，其余均以mm计；
2、采用跨步支墩，按图例设置，以墩顶与轨道接触；
3、轨道的坡度及曲线半径和坡度，步道的坡度按图例2%至8%；
4、架空跨步支墩尺寸及材料参照图例部分。

新建C1区跨步支墩立面图 1:100

中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	柏家克里克子佛洞水坑道建设工程	工程编号	
制 图	王捷	项目负责	王捷	图 号	建施—15
复 核	王捷	审 核	王捷	比 例	1:100
专业负责	王捷	审 定	王捷	日 期	2025.01
新地C1区跨步支墩立面图				第 15 张	共 30 张

表3 C、E区基础根部顶面标高

栈道区挑梁	挑梁顶面标高(m)	栈道区挑梁	挑梁顶面标高(m)	栈道区挑梁	挑梁顶面标高(m)
ZD44	122.251	TL15	123.055	TL24	128.751
ZD45	120.051	TL16	123.951	TL25	128.751
ZD46	118.251	TL17	123.951	TL26	129.848
ZD47	116.451	TL18	123.951	TL27	131.001
ZD48	114.501	TL19	125.301	TL28	131.001
ZD49	114.501	TL20	125.301	TL29	131.001
ZD50	116.570	TL21	125.301	TL30	132.144
ZD51	118.639	TL22	127.101	ZD20	132.951
ZD52	120.708	TL23	128.751		

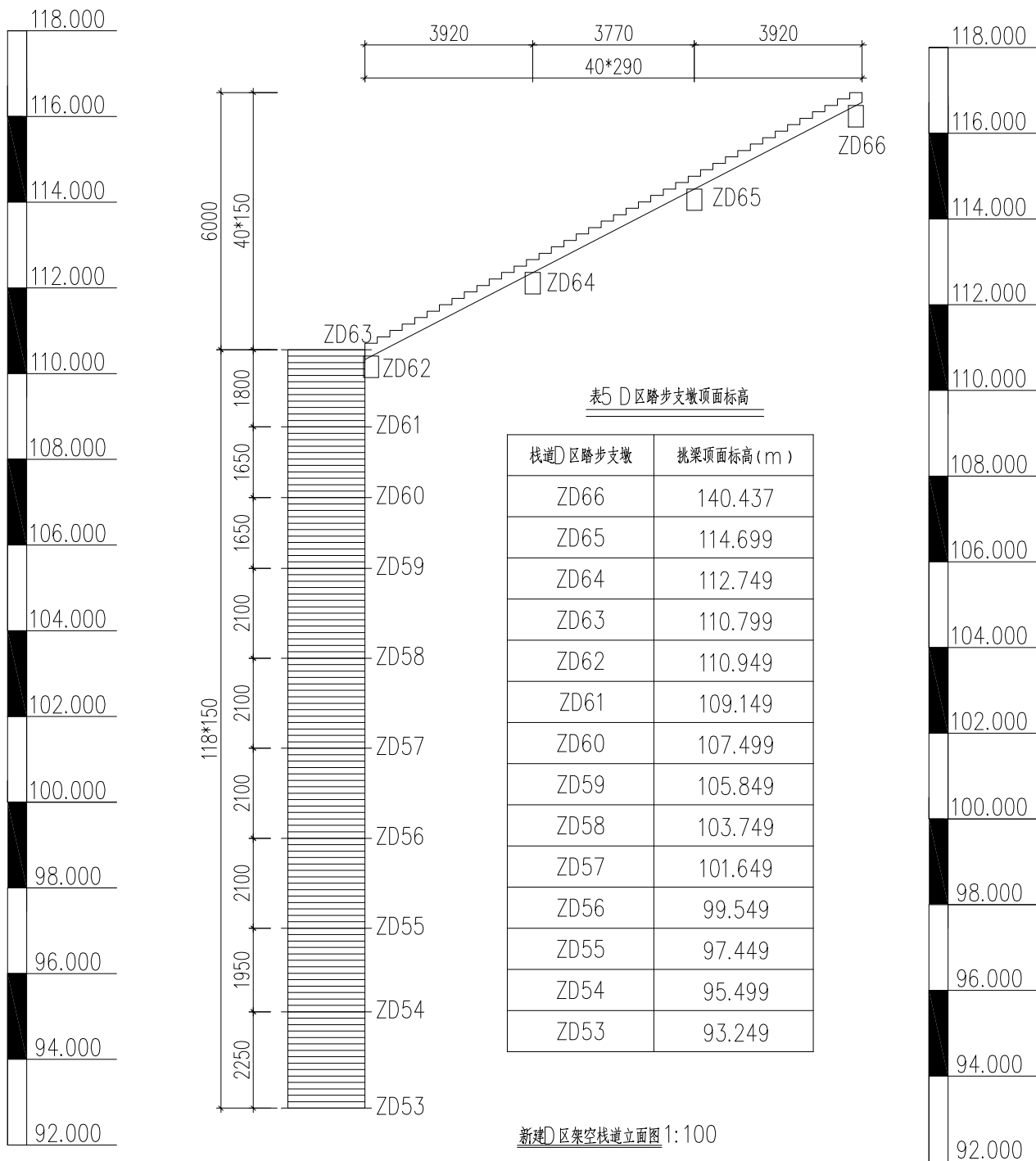


说明:

- 1、本图尺寸标高以m计,其余均以mm计;
- 2、采用踏步台阶,依地形连线,以确保与环境协调;
- 3、找道的坡度应考虑防滑和排水,步道的纵向坡度为2%至8%,超过8%的路段设置为台阶;
- 4、架空踏步支墩尺寸及材料参见结构详图部分。

新建C、E区栈道立面图 1:100

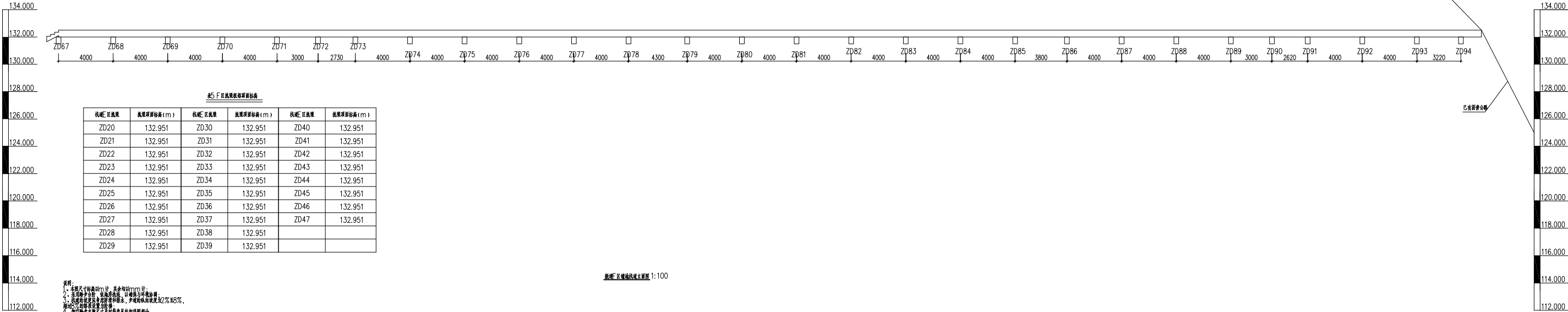
中铁西北科学研究院有限公司				工程名称	柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程	工程编号	
制图	赵敬善	项目负责	王捷	图名	新建C、E区栈道立面图	图号	建施-16
复核	任飞虎	审核	吴志华			比例	1:100
专业负责	王捷	审定	安品集			日期	2025.01
						第 16 张	共 30 张



新建D区架空栈道立面图 1:100

说明:
1、本图尺寸标高以m计,其余均以mm计;
2、采用踏步台阶,依地形选线,以确保与环境协调;
3、架空踏步支墩尺寸及材料参见结构详图部分。

中铁西北科学研究院有限公司				工程名称	柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程	工程编号	
						图 号	建施-17
制 图	赵敬善	项目负责	王捷	图 名	新建D区架空栈道立面图	比 例	1:100
复 核	任子虎	审 核	吴花竹			日 期	2025.01
专业负责	王捷	审 定	安品康			第 17 张	共 30 张



#5 F区隧道每洞面标高					
隧道区段	隧道顶面标高(m)	隧道区段	隧道顶面标高(m)	隧道区段	隧道顶面标高(m)
ZD20	132.951	ZD30	132.951	ZD40	132.951
ZD21	132.951	ZD31	132.951	ZD41	132.951
ZD22	132.951	ZD32	132.951	ZD42	132.951
ZD23	132.951	ZD33	132.951	ZD43	132.951
ZD24	132.951	ZD34	132.951	ZD44	132.951
ZD25	132.951	ZD35	132.951	ZD45	132.951
ZD26	132.951	ZD36	132.951	ZD46	132.951
ZD27	132.951	ZD37	132.951	ZD47	132.951
ZD28	132.951	ZD38	132.951		
ZD29	132.951	ZD39	132.951		

说明:
1、本图尺寸标高以m计,其余均以mm计;
2、本图所示标高,按地形标高,以确保与环境协调;
3、隧道的坡度按平均坡度计算,坡度按坡度坡度为2%至3%;
4、隧道坡度坡度尺寸按本图所示结构图部分。

新建F区隧道立面图 1:100

中铁西北科学研究院有限公司				工程名称	柏孜克里克千佛洞水坑建设工程	工程编号	
制图	王捷	项目负责	王捷	图名	新建F区隧道立面图	图号	建施-18
复核	王捷	审核	王捷			比例	1:100
专业负责	王捷	审定	王捷			日期	2025.01
						第 18 张	共 30 张

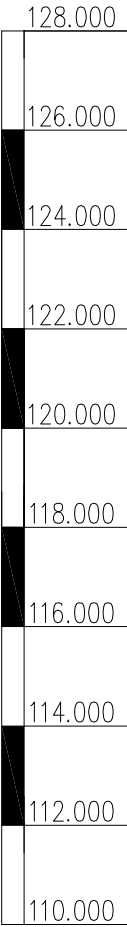
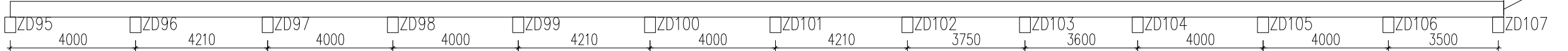
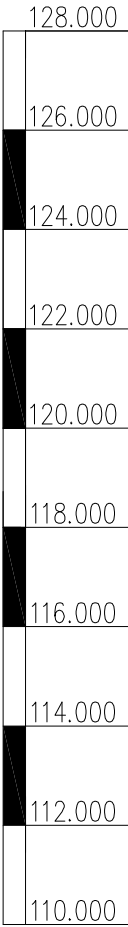


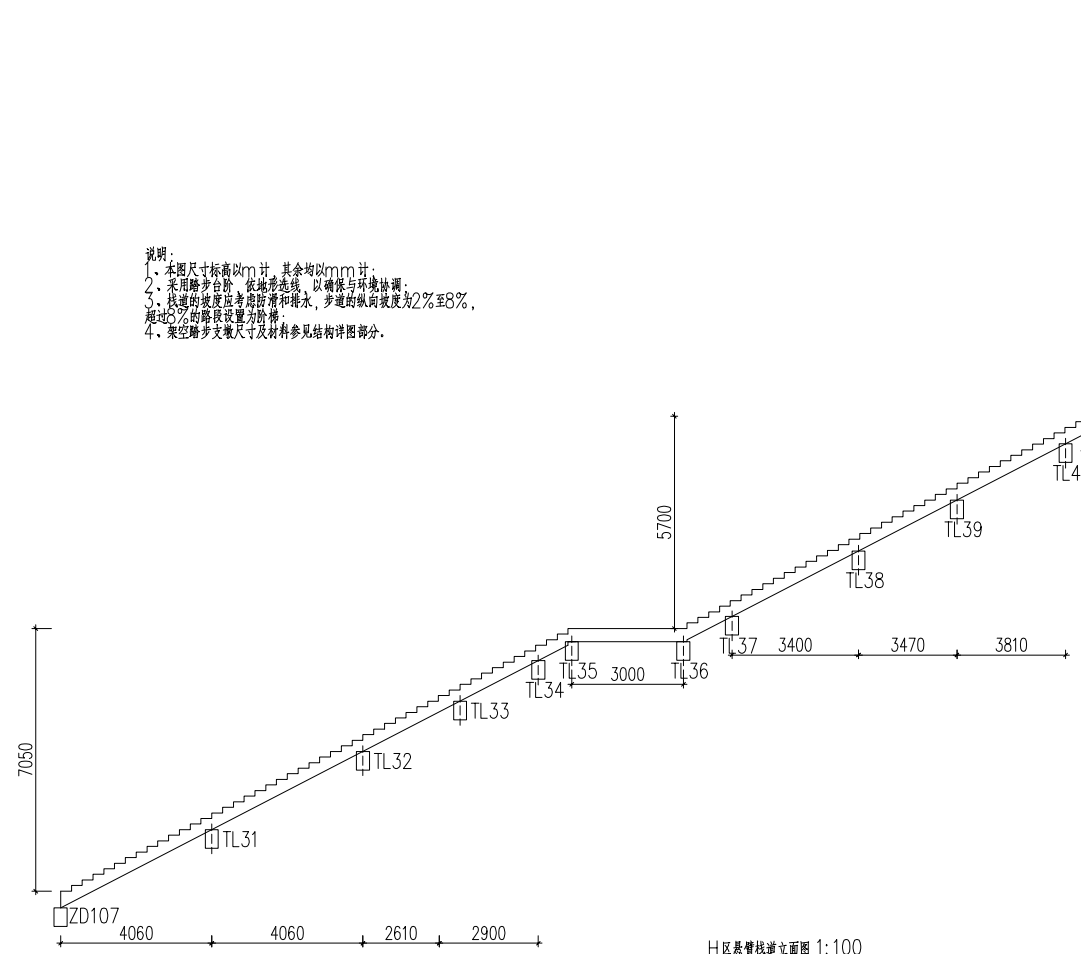
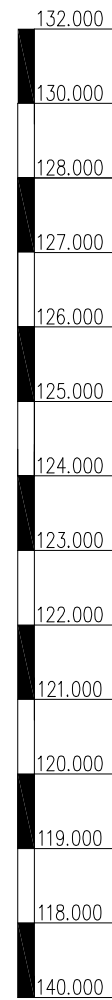
表7 G区踏步支墩顶面标高

栈道E区架空支墩	支墩顶面标高(m)	栈道E区架空支墩	支墩顶面标高(m)	栈道E区架空支墩	支墩顶面标高(m)
ZD95	140.437	ZD100	140.437	ZD105	140.437
ZD96	140.437	ZD101	140.437	ZD106	140.437
ZD97	140.437	ZD102	140.437	ZD107	140.437
ZD98	140.437	ZD103	140.437		
ZD99	140.437	ZD104	140.437		

说明：
1、本图尺寸标高以m计，其余均以mm计。
2、采用踏步台阶，依地形选线，以确保与环境协调。
3、栈道的坡度应考虑防滑和排水，步道的纵向坡度为2%至8%，超过8%的路段设置为阶梯。
4、架空踏步支墩尺寸及材料参见结构详图部分。

新建G区铺地栈道立面图 1:100

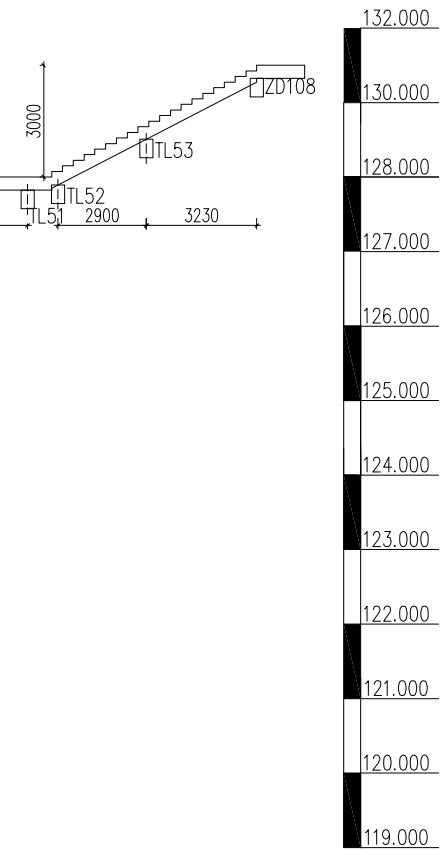
中铁西北科学研究院有限公司				工程名称	柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程	工程编号	
				图名	新建G区铺地栈道立面图	图号	建施-19
制 图	赵敬善	项目负责	王捷			比 例	1:100
复 核	任飞龙	审 核	吴永坤			日 期	2025.01
专业负责	王捷	审 定	安品保			第 19 张	共 30 张



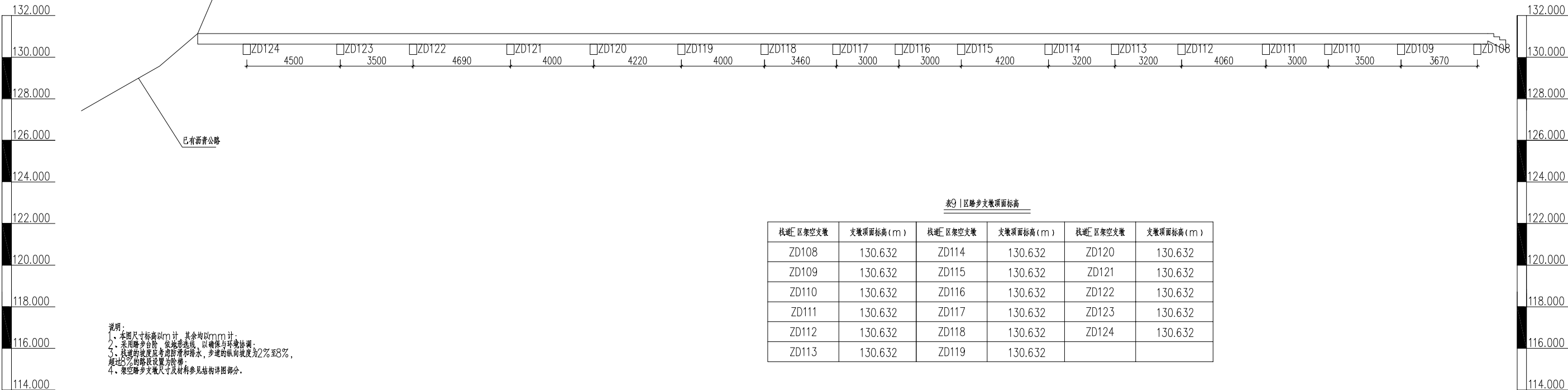
说明:
1、本图尺寸标高以m计,其余均以mm计;
2、采用踏步台阶,依地形选线,以确保与环境协调;
3、栈道的坡度应考虑防滑和排水,步道的纵向坡度为2%至8%,超过8%的路段设置为台阶;
4、架空踏步支墩尺寸及材料参见结构详图部分。

表8 H区挑梁根部顶面标高

栈道区挑梁	挑梁顶面标高(m)	栈道区挑梁	挑梁顶面标高(m)	栈道区挑梁	挑梁顶面标高(m)
ZD107	140.437	TL39	122.912	TL48	127.523
TL31	118.487	TL40	123.667	TL49	127.837
TL32	119.537	TL41	123.862	TL50	127.837
TL33	120.212	TL42	123.862	TL51	127.837
TL34	120.756	TL43	123.925	TL52	127.908
TL35	121.012	TL44	124.719	TL53	129.041
TL36	121.012	TL45	125.633	ZD108	130.632
TL37	121.349	TL46	126.247		
TL38	122.278	TL47	126.881		

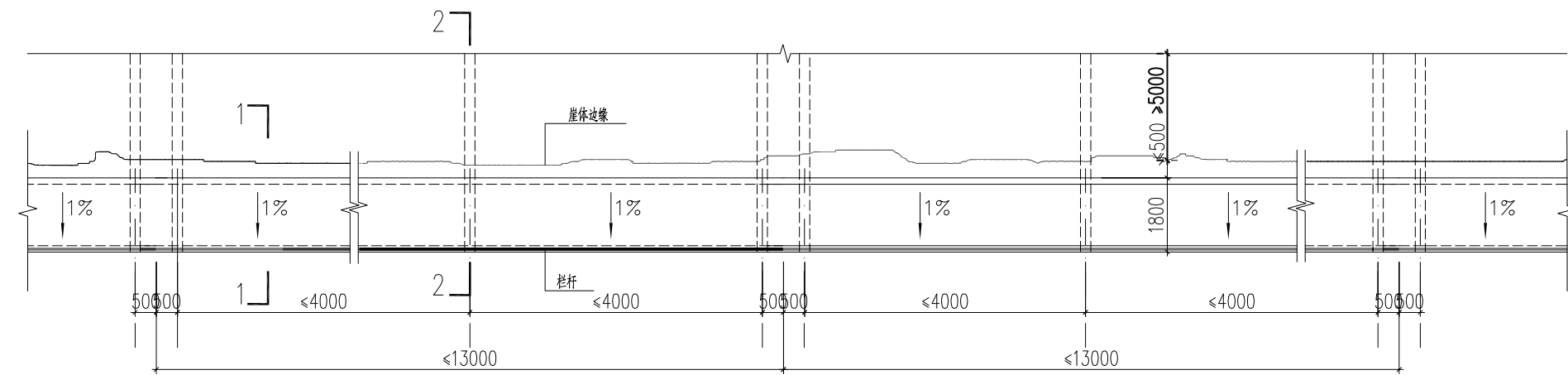


中铁西北科学研究院有限公司				工程名称	柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程		工程编号	
制 图	赵敬善	项目负责	王捷	图 名	新建H区悬臂栈道立面图		图 号	建施-20
复 核	王正虎	审 核	姜永竹		比 例	1:100		
专业负责	王捷	审 定	姜永竹		日 期	2025.01		
					第 20 张 共 30 张			

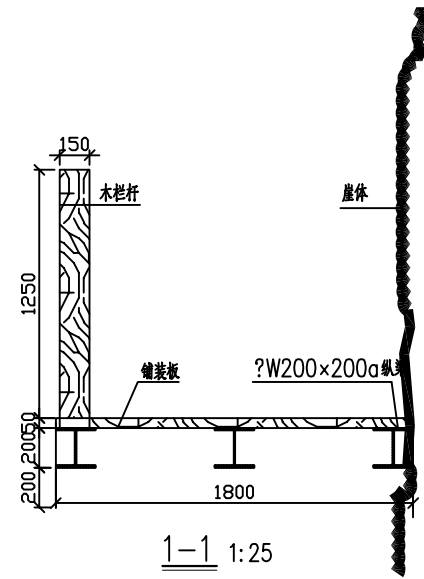


新建区铺地栈道立面图 1:100

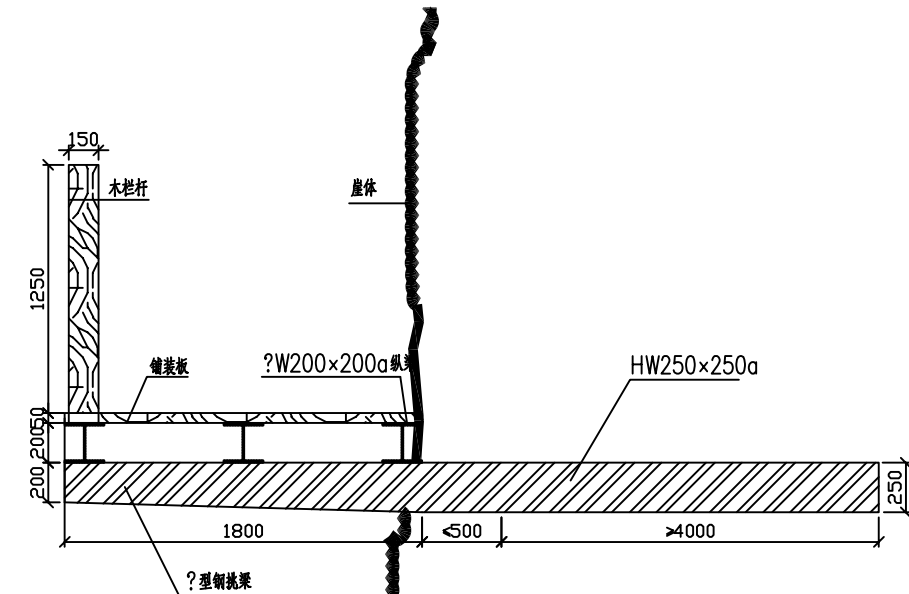
中铁西北科学研究院有限公司				工程名称	柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程	工程编号	
制 图	赵敬喜	项目负责	王捷	图 名	新建区铺地栈道立面图	图 号	建施-21
复 核	王飞虎	审 核	姜志华			比 例	1:100
专业负责	王捷	审 定	姜志华			日 期	2025.01
						第 21 张	共 30 张



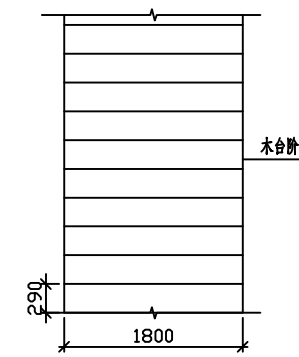
栈道平面图 1:100



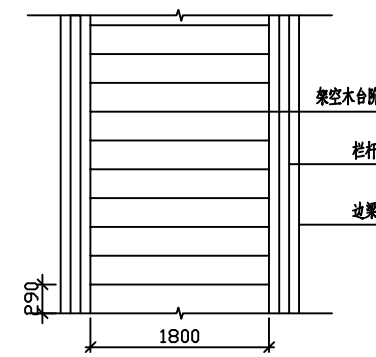
1-1 1:25



2-2 1:25



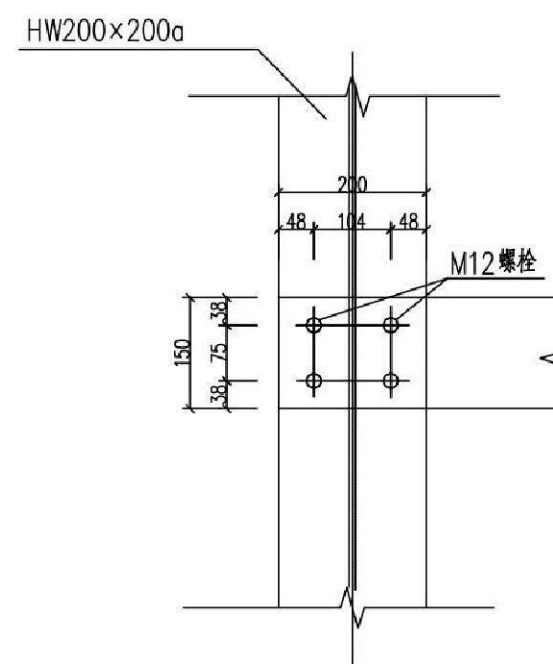
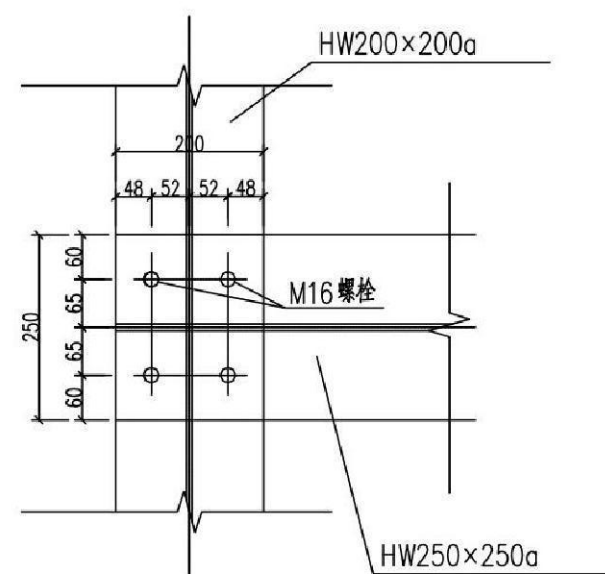
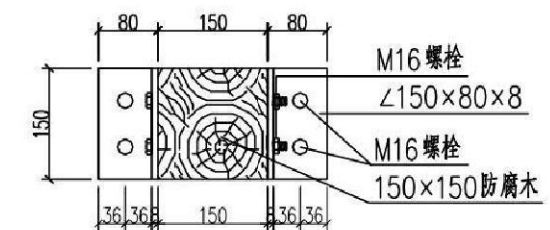
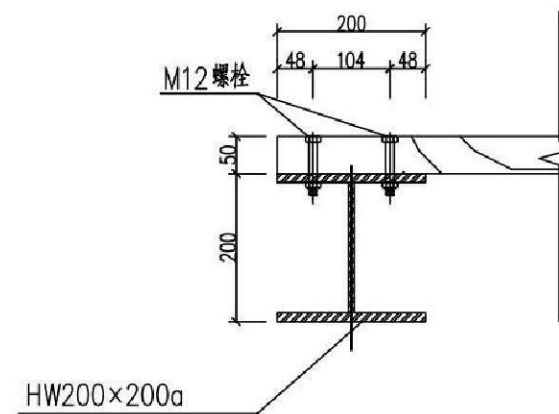
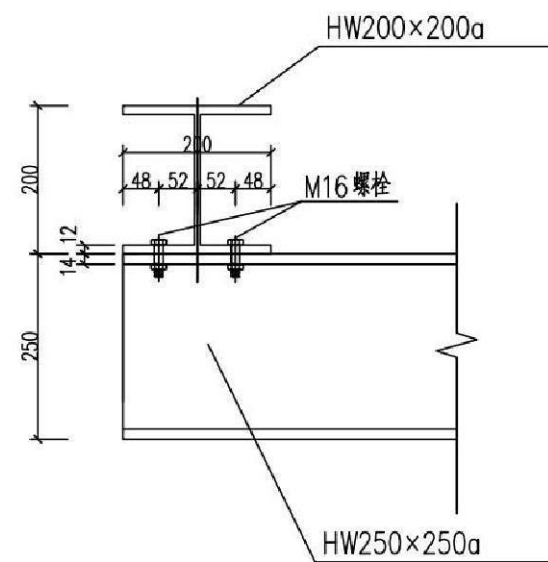
辅助台阶平面图 1:50



架空踏步台阶平面图 1:50

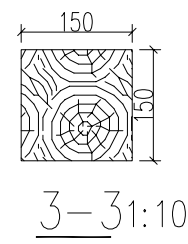
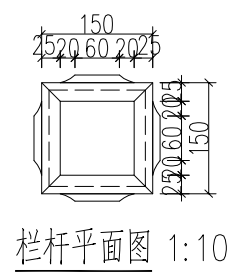
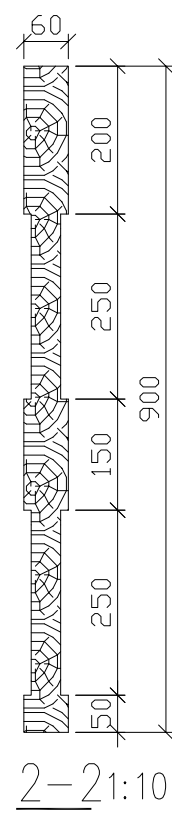
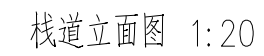
- 说明:
- 1、本图尺寸均以mm计;
 - 2、栏杆和铺装板的材料及尺寸参见设计说明;
 - 3、栏杆、立柱、纵梁和挑梁的连接参见结构节点详图。

中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程	工程编号	
制 图	赵敬善	项目负责	王捷	图 号	建施-22
复 核	任子虎	审 核	姜志竹	比 例	1:100
专业负责	王捷	审 定	姜志竹	日 期	2025.01
栈 道 平 面 图				第 22 张	共 30 张



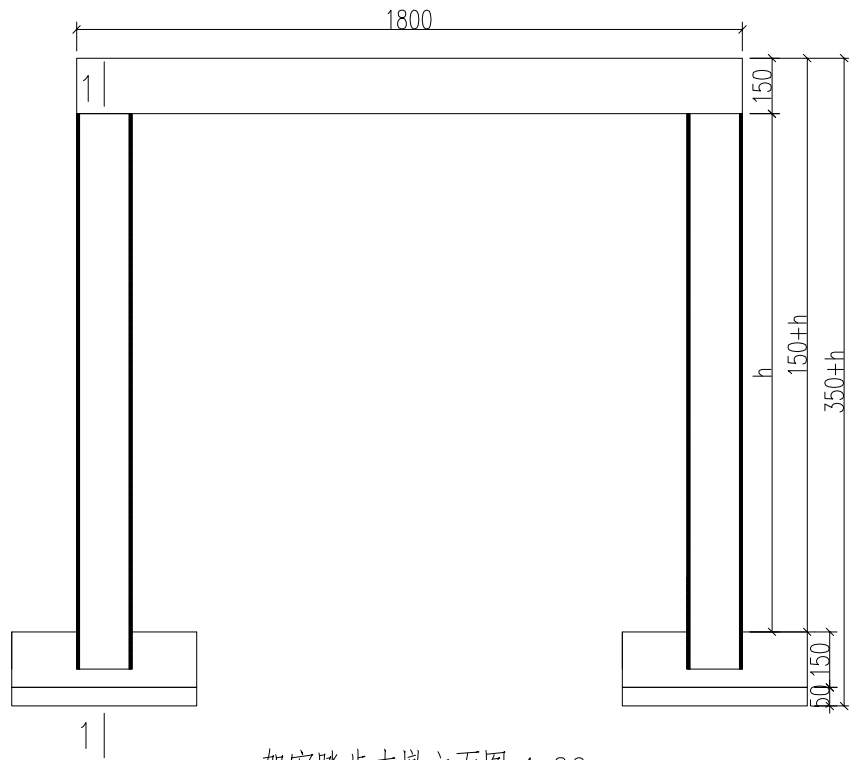
说明:
1、本图尺寸均以mm计。

中铁西北科学研究院有限公司				工程名称	柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程	工程编号	
						图 号	建施—23
制 图	赵敬善	项目负责	王捷	图 名	挑空栈道连接节点图	比 例	1:100
复 核	任子虎	审 核	吴尧仲			日 期	2025.01
专业负责	王捷	审 定	安立康			第 23 张	共 30 张

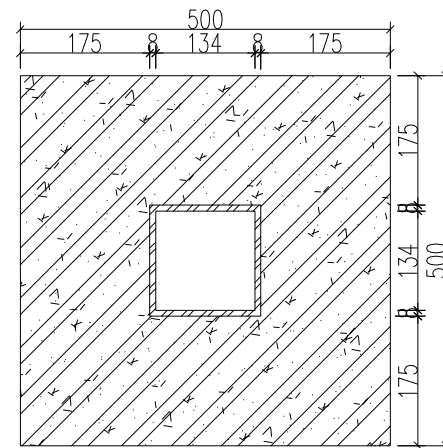
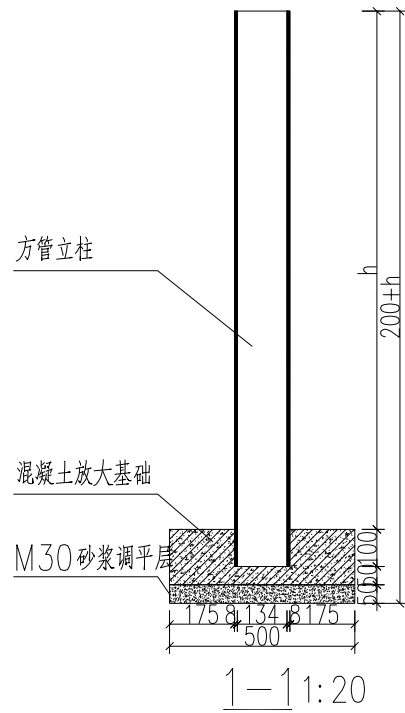


2、栏杆的花纹和立柱的材料型号参见详图部分。

中铁西北科学研究院有限公司				工程名称	柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程	工程编号	
						图 号	建施—24
制 图	赵敬善	项目负责	王捷	图 名	栈道平立面图	比 例	1:100
复 核	任飞虎	审 核	吴志坤			日 期	2025.01
专业负责	王捷	审 定	安品集			第 24 张	共 30 张



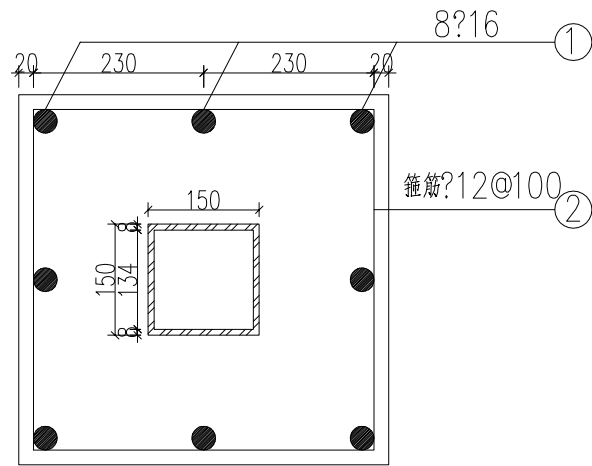
架空踏步支墩立面图 1:20



架空踏步支墩平面图 1:10

每个架空踏步支墩材料表

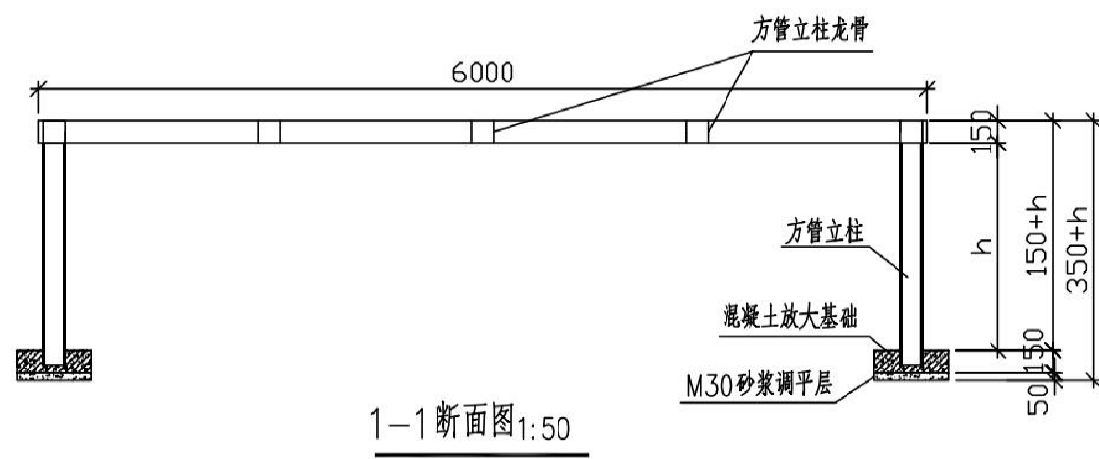
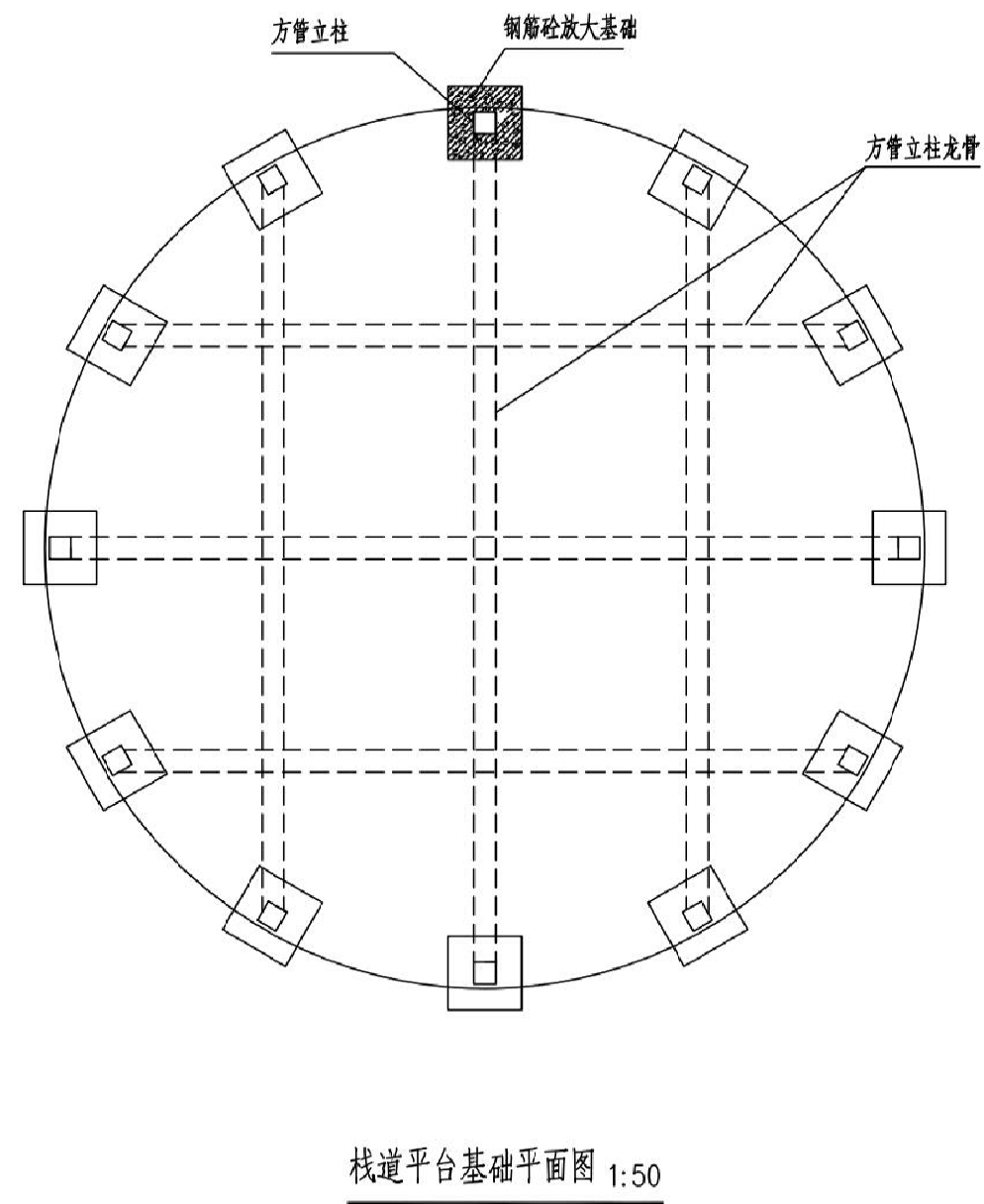
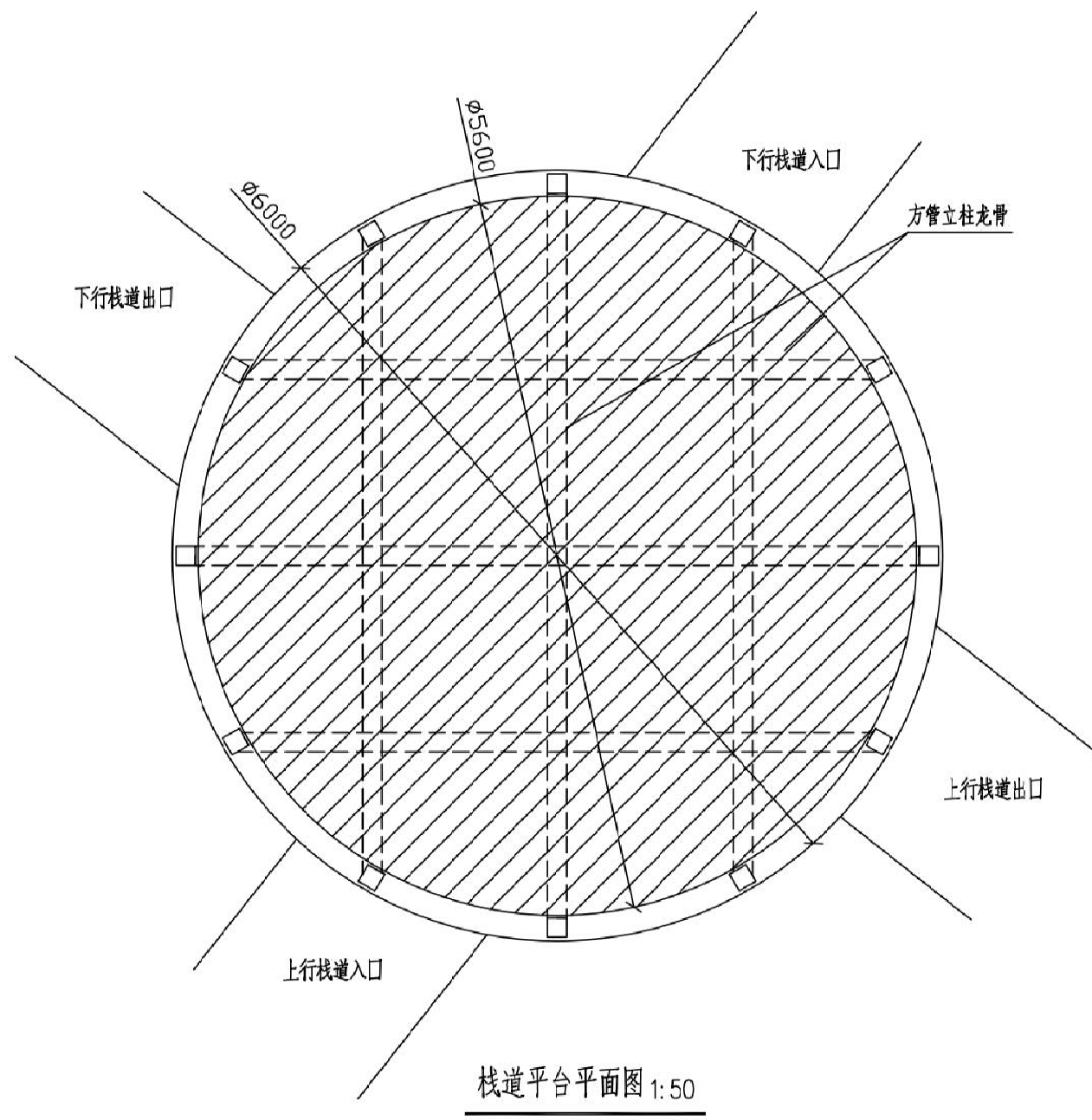
构件编号	构件编号	直径 (mm)	钢筋大样 (mm)	单根长度 (mm)	数量 (根)	总长 (m)	总重 (kg)
踏步支墩	1	16		160	8	1.28	2.10
	2	12		2080	2	4.16	3.70
		Σ	C30 混凝土0.05m³?³?、M30 砂浆0.02m³?³?				



架空踏步支墩平面图 1:10

- 说明:
- 1、本图尺寸均以mm计;
 - 2、方管立柱的高度具体根据现场地基承载力实际情况调整;
 - 3、立柱和横梁的连接节点详图参见结构详图。

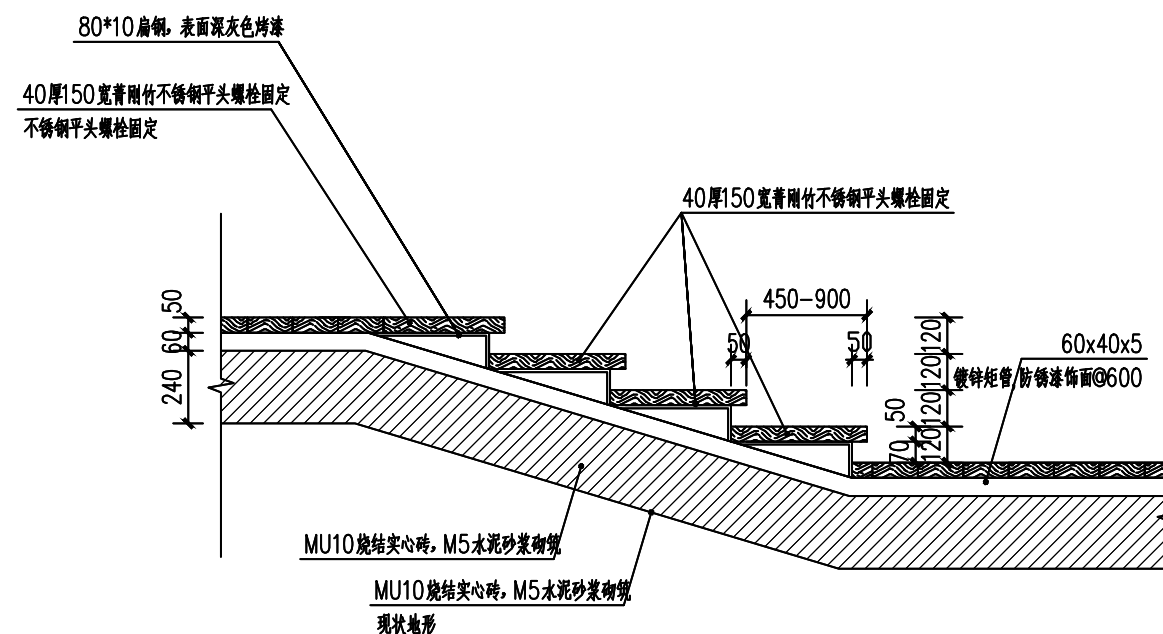
中铁西北科学研究院有限公司				工程名称	柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程		工程编号	
							图 号	建施—25
制 图	赵敬善	项目负责	王捷	图 名	架空踏步支墩平、立面图		比 例	1:100
复 核	王亚虎	审 核	吴志伟				日 期	2025.01
专业负责	王捷	审 定	安品康				第 25 张	共 30 张



说明:

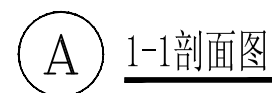
- 1、本图尺寸均以mm计;
- 2、方管立柱的高度具体根据现场地形实际情况调整;
- 3、所有钢材采用焊接,焊接质量符合相关规范要求。

中铁西北科学研究院有限公司				工程名称	柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程	工程编号	
						图 号	建施—27
制 图	赵敬善	项目负责	王捷	图 名	栈道平台结构图	比 例	1:100
复 核	任子虎	审 核	吴龙竹			日 期	2025.01
专业负责	王捷	审 定	安山康			第 27 张	共 30 张

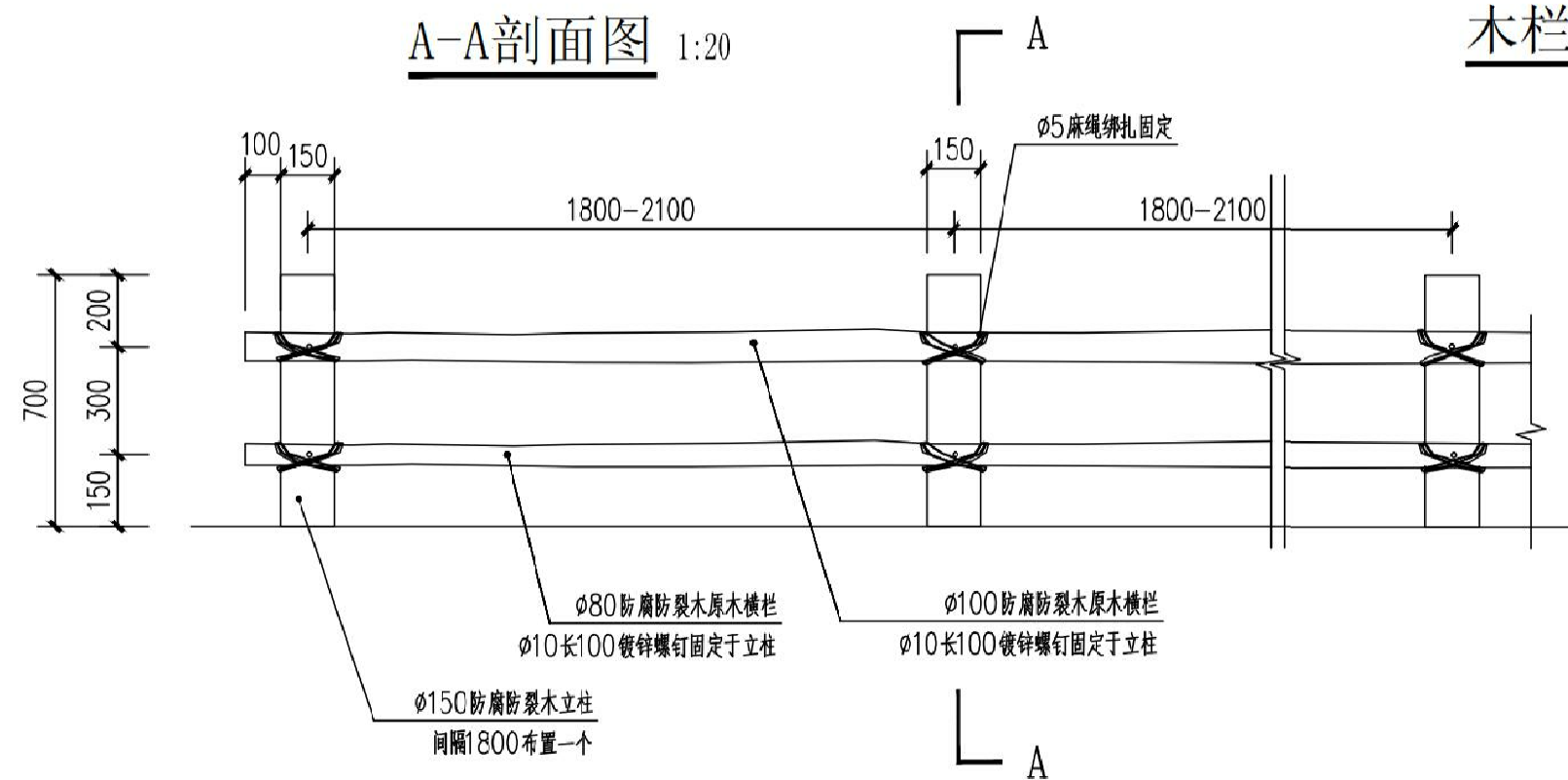
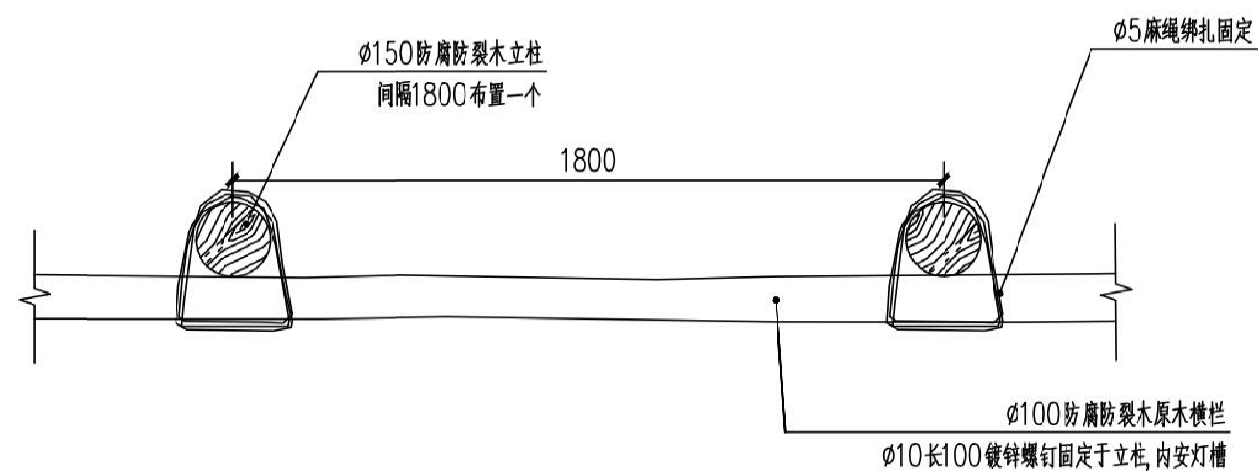
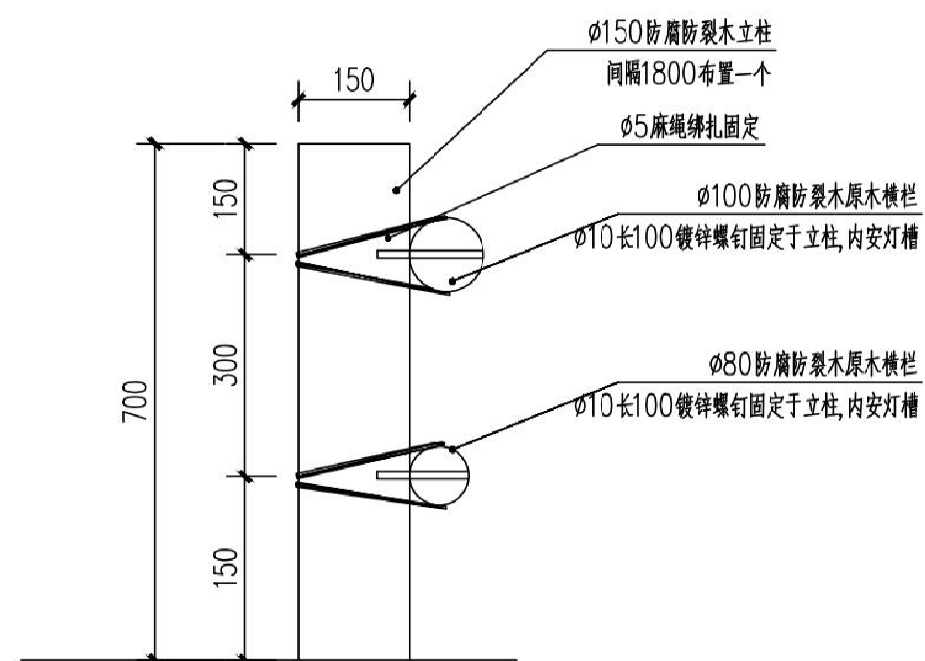


Ⓑ 2-2剖面图

备注: 台阶基层可根据现状地形做适当



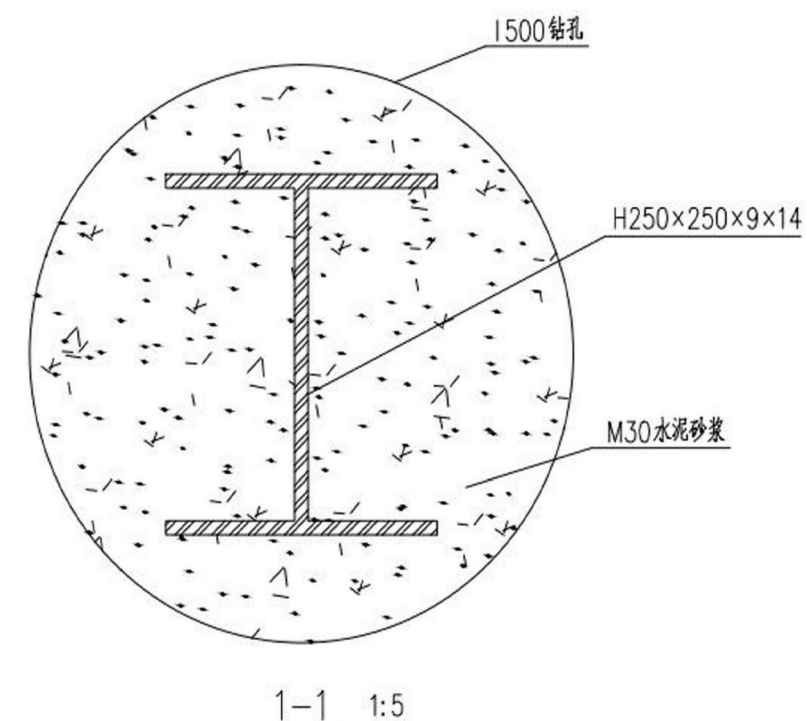
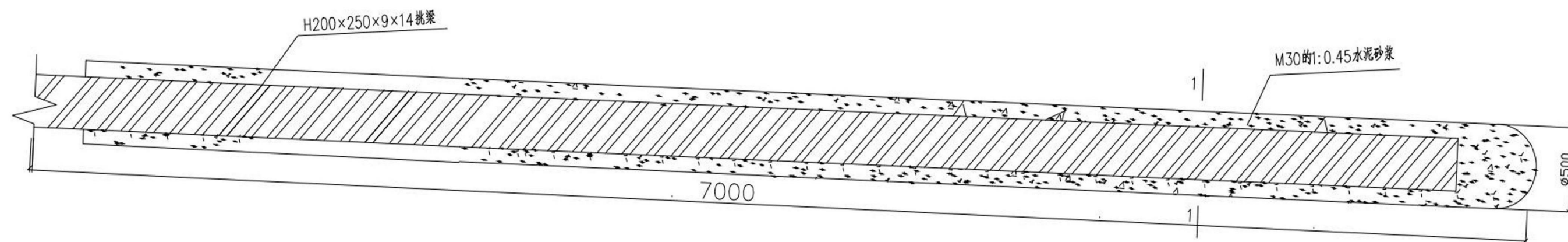
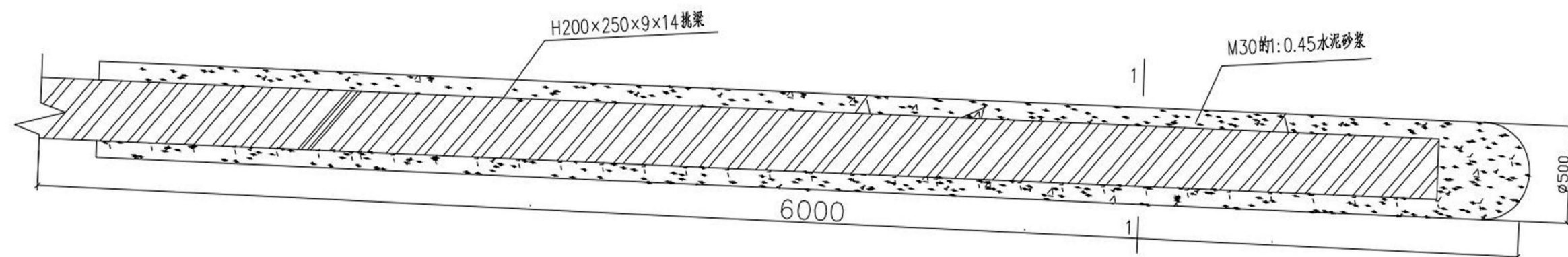
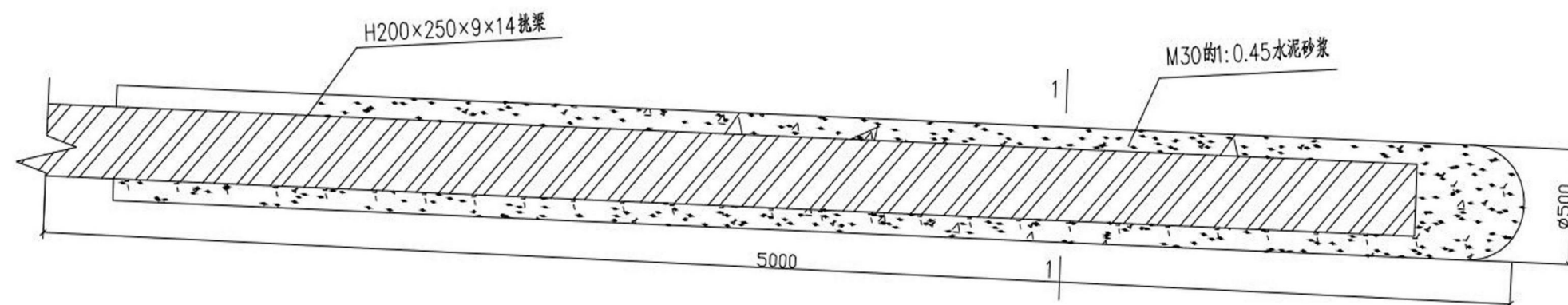
中铁西北科学研究院有限公司				工程名称	柏孜克里克千佛洞 木栈道建设工程	工程编号	
						图 号	建施-28
制 图	赵敬善	项目负责	王捷	图 名	栈道踏步大样图	比 例	1:100
复 核	任子航	审 核	吴龙仲			日 期	2025.1
专业负责	王捷	审 定	安玉康			第28张	共30张



木栏杆立面图 1:20

备注: 栏杆位置详见平面图

中铁西北科学研究院有限公司				工程名称	柏孜克里克千佛洞木栈道建设工程	工程编号	
						图 号	建施—29
制 图	赵敬善	项目负责	王捷	图 名	栈道扶手大样图	比 例	1:100
复 核	任子虎	审 核	吴龙仲			日 期	2025.01
专业负责	王捷	审 定	姜山康			第 29 张	共 30 张



构件编号	构件编号	名称	规格型号	单个锚孔量	数量	数量	总量
锚孔	1	锚孔	I400	5.0	m	43	165.0
	2	砂浆	M30	0.63	m ³	43	27.09
	3	H型钢	H250×250×9×14	507.50	kg	43	21822.50

说明:

- 1、本图尺寸均以mm计；
- 2、M30的水泥砂浆配比为1:0.45；
- 3、锚孔的具体长度根据现场地质条件实际调整。

中铁西北科学研究院有限公司				工程 名称	柏孜克里克千佛洞 木栈道建设工程	工程编号	
						图 号	建施-30)
制 图	赵敬善	项目负责	王捷	图	试验区锚杆结构图	比 例	1:100
复 核	任子晴	审 核	吴尧坤			日 期	2025.1
专业负责	王捷	审 定	安玉保			第 张	30共 30张