

废弃岩坑观光电梯锚杆脚手架施工技术及要点

文 / 郑志龙 上海园林(集团)有限公司

摘要: 以磨心山矿坑公园项目为例, 论文从危岩体治理, 及依靠危岩体搭设锚杆施工脚手架 2 方面分析施工工艺, 总结施工技术要点, 为今后的同类型项目提供参考。

关键词: 矿坑公园; 危岩体治理; 观光电梯; 脚手架; 施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.16.109

引言

在废弃岩坑复杂且特殊的地质条件下搭建观光电梯, 面临诸多挑战, 锚杆脚手架施工技术作为保障观光电梯结构稳固与施工安全的核心技术之一, 其合理应用与精准把控至关重要。锚杆的有效锚固深度、脚手架的搭建规范等要点, 直接关系到观光电梯在后续运营中的安全性与稳定性。深入研究废弃岩坑观光电梯锚杆脚手架施工技术及要点, 对于推动废弃岩坑旅游资源的高效开发、确保游客人身安全、提升旅游设施建设质量具有深远意义, 也是当下工程领域亟待攻克的重要课题。

一、工程概况

磨心山位于岱山岛的东南部, 留下的废弃岩口占地面积约 60000 m², 岩口垂直山壁面积约 11000 m², 垂直壁最大高差约 84m。为展示磨心山临海的自然风景, 设计师在山南面设计垂直观光电梯, 从山脚可乘坐电梯到山顶观海, 远眺波光粼粼的海面, 令人心旷神怡。

(一) 危岩体特征分析

为保证观光电梯、游览设施及游客人身安全, 必须对边坡治理, 不允许边坡崩落掉块。矿坑治理区属海岛丘陵地貌, 治理区最高海拔 +128.50m, 底盘标高约 +40m, 山顶呈长条状, 山势总体平缓、上陡下缓, 山体自然坡度 10 ~ 25°。边坡出露的地层岩性主体为晶屑熔结凝灰岩, 质地致密坚硬。

根据危岩体边坡的走向及其特征, 将危岩体分为 I、II、III、IV 四个区。

分区	位置	边坡倾角	边坡垂高	边坡长
I	岩口南侧	倾角 88°	3 ~ 17m	约 30m
II	岩口南侧西段	倾角 55 ~ 70°	17 ~ 63m	约 100m
III	岩口西段南部	倾角 75 ~ 85°	60 ~ 71m	约 65m
IV	岩口西段南部	倾角 75 ~ 85°, 中上部反倾	60 ~ 71m	约 50m

通过对四段边坡的勘察和赤平投影分析, 对边坡进行稳定性评价。I 区边坡稳定; II、III 区坡总体稳定, 但浮石、险石较多或局部存在楔形掉块现象; IV 区发育顺坡节理, 额头部位呈阴山坎、倒挂状, 下部无根无支撑, 上次治理过程中曾发生巨大岩块崩塌现象, 不稳定。

(二) 观光电梯工程概况

该观光电梯属于扶壁式观光电梯, 结构体系为钢框架——中心支撑结构体系, 塔架结构的平面布置采用矩形。电梯钢井架高 74.6 m, 钢井架基础坐落于岩底狭窄

平台上。在塔架与山体之间设置支撑结构, 中部设置 6 道横向支撑, 上部设置廊桥连接, 竖向设置 2 道支撑, 以加强对塔架结构的约束, 提高结构的抗侧移刚度。



图 1 废弃岩坑治理分区图

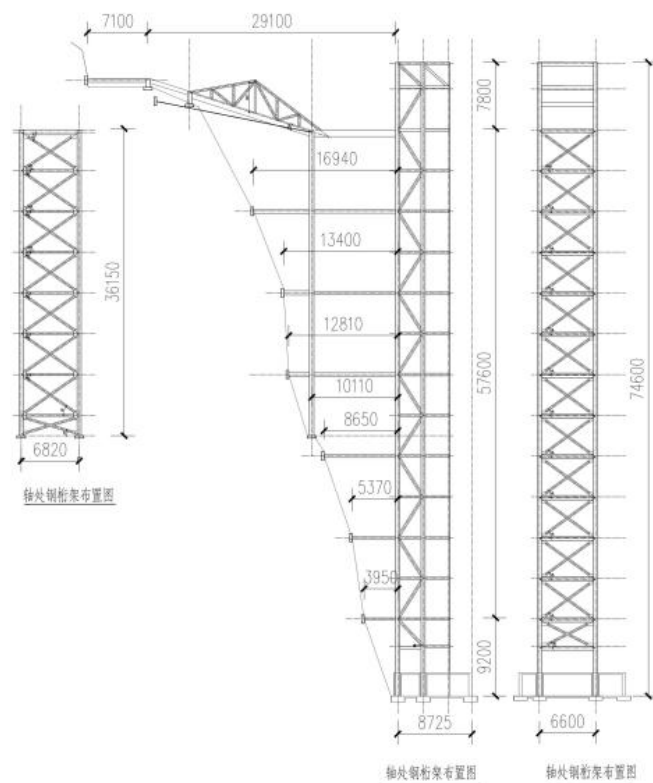


图 2 观光电梯图

二、危岩体治理施工技术

该边坡属于磨心山景区重要的观赏面，考虑将来部分区域人工或自然绿化需要，设计采用“局部削坡+清坡排险+钢丝绳锚杆+GPS2型SNS柔性防护网”的治理措施。

(一) 施工工艺流程

原材料送检→施工准备→静态爆破→人工削坡清坡搭设脚手架→锚杆施工→柔性防护网施工

(二) 削坡、清坡排险

I区边坡稳定，仅清坡排险。对II、III区局部突起及危岩体，采用人工+风镐方式削坡。IV区原则上按80°左右的坡度进行削坡，削坡采用化学静态涨裂方式。II、III、IV区边坡削坡完成后，再进行清坡排险。本次治理区清坡面积为12246m²，削坡方量约6881m³。

(三) 钢丝绳锚杆加固

对清理后的II、III、IV区坡面，及III、IV区坡顶20m范围内采用采用钢丝绳锚杆+SNS柔性主动防护网进行防护，以确保边坡稳定。

1、系统锚杆：II区边坡共设置系统锚杆9~39排，底排锚杆标高+42m，锚杆俯角15°，钻孔孔径70mm；锚杆长度临近坡脚四排为4m，其它为6m。III、IV区边坡共设置系统锚杆7~11排，底排锚杆标高+100m，锚杆俯角15°，钻孔孔径50mm；锚杆长度3m。系统锚杆施工工程量为7824m。

2、翻边加固锚杆：沿坡顶外缘2m附近施工一排翻边加固锚杆以固定SNS柔性主动防护网，锚杆俯角45°左右，钻孔孔径70mm；锚杆长度为4m。翻边加固锚杆施工工程量为364m。

系统锚杆和翻边加固锚杆都使用2φ16的热镀锌钢丝绳，强度达到1770MPa，锚杆间距2.25m×2.25m，方形布设，锚杆注浆用砂浆强度为M30。锚杆设计锚固力不小于30KN。

3、随机锚杆：对难以清除的大块危岩体，采用直径25mm的HRB400螺纹钢锚杆加固。对岩面不平整SNS柔性主动防护网空隙较大区域，采用钢丝绳锚杆加固。随机锚杆长度为4m，随机锚杆施工工程量为780m。

(四) SNS柔性防护设施

柔性防护设施为防护网，由φ16横向支撑绳与φ16纵向支撑绳，以及锚杆，按照2.25×2.25m矩形模式组建出网状结构。其中，每个网格中均设置一张D0/08/300/T4×4型钢丝绳网，同时该钢丝绳网均采用缝合绳缝合联结并拉紧的形式与四周支撑绳连接。防护网中支撑绳与锚杆联结后再进行预张拉，通过向坡面施加一定的法向预紧压力，让表层岩土体的稳定性得到提升。此外，在防护网下，还设有S0/2.2/50/2.25×9.2型格栅网，用于挡住可能塌落的小尺寸岩块。

三、电梯锚杆基础脚手架施工技术

为施工观光电梯的钢结构支撑，需在III区边坡上施

工锚杆基础。本工程为锚杆施工脚手架，脚手架施工位置位于III区边坡，属于危大脚手架工程。脚手架竖向荷载应考虑分段，防止竖向荷载及竖向变形过大^[1]。根据现场情况，在标高86m处存在高边坡平台段，故将锚杆施工脚手架分2个施工段，脚手架一段标高56m-86m（高度30m），脚手架二段标高86m-122m（高度36m），由下至上分两段流水施工，有效解决了脚手架难施工易倒塌的问题。

(一) 脚手架的选型及设计

III区边坡治理全部施工完成后，在高边坡上施工锚杆基础需搭设脚手架。在此过程中，选用扣件式钢管脚手架，将高边坡底部平台和边坡平台作为脚手架及施工荷载轴向力主承力区，并结合具体情况开展搭设施工。在施工过程中，坡面扫地杆、立杆与水平杆的材质均为直径48×3.0的钢管，采用标准扣件进行连接。脚手架随坡度按照错落坡型落地模式进行双排搭设，并将主受力杆间距设置为1.2m，其他辅助受力立杆的间距则随坡度调整，但需控制在1-1.2m之间。

为防止脚手架整体外倾倒塌，在脚手架与山体设置可靠的连墙件。脚手架连墙杆按照二步三跨进行设置，双扣件连接，双扣件抗滑移承载力为12KN。脚手架连墙杆与岩石连接锚固点的承载力应大于24KN（安全系数为2），采用直径25的3级螺纹钢作为连墙件，垂直于岩体坡面，锚杆孔径75mm，深度1050mm，单根25插筋锚固力计算值为39.5KN。

施工过程中，需将剪刀撑设置在脚手架外侧，并从脚手架端头起，按水平距离6m（每四跨），按照自下而上，左右连续贯通的方式开展剪刀撑的连续设置施工，剪刀撑与地面夹角为50°。

(二) 脚手架基础设置

本方案脚手架落地，底部段高度30m，上部段高度36m，脚手架传给地基的荷载相当大，地基必须具有相应的承载力^[2]。脚手架的基础要平整且基础承载力须符合要求。地基承载力特征值fak应大于150kPa。根据地质资料显示，场地表面为含碎石粉质粘土或含粘土碎石，地基承载力特征值fak大于150kPa。

1、岩石地基必须整平，以减少扫地杆变形，将岩面凿平，采用C20混凝土硬化，厚度100mm；混凝土基础设置向外约1%的坡度。

2、立杆支承下面与地面接触处必须垫实，落地立杆应垂直稳放在金属底座上。

3、脚手架基础场地不得有积水，基础外侧设置截面不小于200×200mm的排水沟，并在外侧800mm宽范围内采用混凝土硬化，且不能让脚手架基础泡水。

4、对于打入岩层地锚的立杆，可视情况采用砂浆固定和封堵，以确保其周围不出现积水。如果脚手架悬挑过大，考虑立杆内移至山体上时需考虑稳动性，在山体锚入直径25的短钢筋，钢管套入钢筋内，此时底座应平整。

(三) 架体搭设技术要点

脚手架的搭设应在脚手架基础完成后进行。脚手架是按照由下而上的顺序进行搭设，具体的技术环节包括

脚手架搭设方式	双排脚手架	脚手架钢管类型	$\Phi 48 \times 3$
脚手架架体高度 H(m)	36	水平杆步距 h(m)	1.8
立杆纵(跨)距 la(m)	1.5	立杆横距 lb(m)	1.2
内立杆距建筑距离(m)	0.5	横向水平杆悬挑长度(m)	0.15
可变荷载控制, 永久荷载分项系数 $\gamma G1$	1.2	可变荷载控制, 可变荷载分项系数 $\gamma Q1$	1.4

1. 连墙件

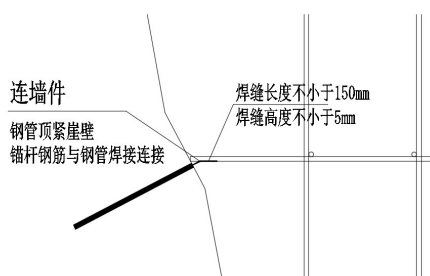


图 3 连墙件示意图

需要按照横竖向的顺序进行连墙件的排列，而且确保排列均匀，并与架体垂直。同时还要尽量让连墙件靠近主节点，且要将其与主节点之间的距离控制在 30cm 以内。一般来说，通过让连墙件靠近主节点，能够有效地阻止脚手架发生横向弯曲失稳或倾覆。在施工过程中，应让钢管顶紧山体崖壁，并将连墙杆伸出扣件的距离设置在 10cm 以上，同时需要在进行底部第一根大横杆安装时，就开展连墙杆的布置，而且要沿整片脚手架错开均匀布置。在连接操作时，应当确保限制连墙件偏离主节点不超过 30cm。

脚手架连墙杆与直径 25 螺纹钢连接采用焊接形式，焊缝高度不小于 5mm，焊缝长度不小于 150mm。锚杆连墙件施工中砂浆强度为 M30，锚杆孔清孔后须先注满浆，再插钢筋。锚杆砂浆强度达到 70% 后，锚杆钢筋才能与架体连接，然后继续向上施工。

2. 安全通道及斜道搭设

在安全通道施工中，需要在其顶部满铺两层脚手板，以防砸，同时在外围设置密闭安全网进行封闭，且设置明显标志。人行斜道的坡度最好设置为 1 : 3，宽度在 1m 以上，在拐弯区域安排平台空间，并确保平台宽度超过斜道宽度。同时还要在斜道两侧及平台外安装挡脚板、栏杆。保证安装的栏杆高度应超过 1.2m，挡脚板高度要超过 180mm。同时，按 2 步 2 跨在平台外围和端部，以及人行斜道两侧区域安装连墙件，并每两步增设水平斜杆。此外，还要设置连续的横向斜撑、剪刀撑。在进行脚手板横铺施工时，在横向水平杆下安装纵向支托杆，托杆之间的距离控制在 500mm。脚手板采用顺

放线、摆放木枋、摆放扫地杆、竖立杆、装大、小横杆、铺脚手板、搭防护栏杆、绑防护挡脚板，及挂安全网等。施工操作参数表如下：

铺，接头应搭接，下面的板头压住上面的板头。此外，每隔 250 ~ 300mm 在人行斜道的脚手板上设置一根厚度 20 ~ 30mm 的防滑木条。

四、脚手架受力分析

脚手架的受力计算是设计方案合理性和安全稳定性的验证。本项目脚手架施工前，对脚手架的受力进行了系统性验算，验算项目有 16 项，包括：纵向水平杆强度、挠度验算，横向水平杆强度、挠度验算，扣件抗滑移计算，立杆稳定性验算，允许搭设高度验算，连墙件承载力强度、稳定性、抗滑移验算，地基承载计算，单根锚杆抗拔承载力计算，单根钢筋抗拔承载力计算，及单根钢筋与连墙杆焊缝计算。经过对脚手架受力计算分析，计算值都小于允许值，满足稳定要求，为脚手架的顺利搭设提供了保证。

结语

1、废弃矿坑的景观再造，对危岩体特征分析评价和防护治理至关重要。磨心山高边坡采用局部削坡，并加以钢丝绳锚杆+GPS2 型 SNS 柔性防护网防护。处理完成后至今危岩体处于稳定状态，对观光电梯和景观设施未造成损害。

2、高边坡锚杆施工脚手架可以很好的解决操作平台问题。超过 50 米的双排脚手架可依山坡采取分段施工，以保证脚手架的稳定性承载能力。不同于房屋脚手架，与岩体结合，脚手架连接件可采用钢筋锚杆。连墙件的设置对高排脚手架的安全稳定至关重要^[3]。

3、本项目锚杆脚手架经历了夏季大风暴雨，正由于对脚手架系统性受力计算和稳定性验算，及关键技术的施工把控，确保了脚手架的安全稳定，值得类似脚手架工程借鉴参考。

参考文献

[1] 刘学军. 高陡软弱边坡脚手架的安全和施工技术 [J]. 工业建筑, 2014, 44 (1) : 165 - 168.
 [2] GB 50007—2002 建筑地基基础设计规范 [S].
 [3] 舒缓, 马继峰, 高强. 高边坡脚手架平台稳定性验算及安全监测方法 [J]. 四川建筑, 2021, 41 (6) : 238-241.

作者简介：郑志龙（1988 ~），男，江苏泰州人，高级工程师，从事园林景观工程施工技术及管理研究。