

$$x_{YS1} = x_{GS1} + S_1 \cos \alpha_{GS1-YS1}$$

$$y_{YS1} = y_{GS1} + S_1 \sin \alpha_{GS1-YS1}$$

式中： $\alpha_{GS1-YS1}$ 为边 GS1-YS1 的坐标方位角， $\alpha_{GS1-YS1} = \alpha_{GS1-GS2} + \theta$ （ $\alpha_{GS1-GS2}$ 为 GS1-GS2 边的已知坐标方位角， α 为通过正弦定理计算的角度值）。

同理，通过钢丝 GS1、GS2 坐标，同样可求得 YS2 点的地面坐标系下的近似坐标。四边形 GS1-YS1-GS2-YS2 中，GS1、GS2 点的坐标是已知的，S1、S2、S3、S4（S4 为 YS2 到 GS2 的距离）和 α 、 β （ β 为 YS2 处观测的角度）为已知观测值。计算时将两个独立的联系三角形延伸扩展为直伸四边形，因此采用严密平差的方法（基于最小二乘法原理），增加了图形强度和校核条件，能够通过多组数据的相互约束减少误差累积，使严密平差的方法计算评定 YS1、YS2 点的坐标和精度。

这样就将钢丝 GS1、GS2 的坐标和方位角传递到地下 YS1、YS2 点和边 YS1-YS2 上了，也就是将地面控制网中的坐标、方位角经由竖井传递到地下了，为井下后续的施工测量提供了统一的坐标基准。

3 实例运用

武汉地铁 8 号线三期某竖井工程，该竖井所在隧道区间长度达 3.2km，埋深约 28m，竖井内湿度较大且存在轻微气流扰动，对测量环境存在一定干扰。施工中需通过精准的联系测量保障盾构机掘进方向的准确性，避免因隧道偏差导致工期延误或工程返工。本次测量采用双测站法联系测量（图 A），先通过 DJ1 和 DJ2 两个地面近井点测量钢丝 GS1-GS2 坐标和方位角，再用精密导线测量方法进行角度和边长测量，将坐标和方位角信息传递至 YS1-YS2、ZS1-ZS2（ZS1、ZS2 为井下另一组导线点）。

本次外业测量数据（表 1 联系测量外业数据汇总表）和计算结果如下：

表 1 联系测量外业数据汇总表

测站	观测方向	角度值< br/> (° ' ")	距离 / (m)
DJ1	JC64	0	650.4625
	JC27	21.08482	107.5181
	GS1	326.19343	53.8447
	GS2	326.55025	26.0825
DJ2	JC64	0	650.547
	JC27	21.11528	107.6568
	GS1	326.30292	53.8228
	GS2	327.18098	26.0605
YS1	GS1	0	61.1774
	ZS2	0.16047	196.5014
	YS2	0.19336	196.4968
	GS2	0.2041	33.4152
ZS1	GS1	0	61.1795
	ZS2	0.08079	196.5041
	YS2	0.11385	196.4996
	GS2	0.30138	33.4182

（注：JC64、JC27 为地面已知控制点）

根据观测数据文件进行平差处理，平差过程中对角度、距离观测值进行加权分配（角度观测值权重按测回数确定，距离观测值权重按测距精度确定）。

采用 DJ1 作为单测站法联系测量计算：底板控制边 YS1-YS2 的方位角为 17°16'57"、ZS1-ZS2 的方位角为 17°09'54"；采用 DJ2 作为单测站法联系测量计算：底板控制边 YS1-YS2 的方位角为 17°17'03"、ZS1-ZS2 的方位角为 17°09'56"；采用双测站法联系测量计算：最终底板控制边 YS1-YS2 的方位角为 17°17'00"、ZS1-ZS2 的方位角为 17°09'55"。

从计算成果上分析，双测站法通过两组独立观测数据的相互验证与融合，使得方位角结果更趋精准：单测站法两次计算的 YS1-YS2 方位角差值为 6"，ZS1-ZS2 方位角差值为 2"；而双测站法最终结果与 DJ1 单测站结果的差值分别为 3"（YS1-YS2）、1"（ZS1-ZS2），与 DJ2 单测站结果的差值分别为 3"（YS1-YS2）、1"（ZS1-ZS2），均控制在 ±3" 以内，有效提升了数据可靠性。同时，该方法将测量和检核同步开展，无需额外增加观测轮次，相比传统一井定向测量节省了约 30% 的作业时间，大幅提升了施工效率。

4 结语

双测站联系三角形较传统的联系三角形进行竖井联系测量，不仅在精度上有一定的提高（方位角中误差从传统方法的 ±5" 降至 ±2" 以内，坐标中误差从 ±5mm 降至 ±3mm 以内），而且在数据平差计算中能起到相互的检核作用，通过两组独立数据的比对可及时发现观测误差或计算错误，有效地减少了错误的发生。

测量过程中，双测站法联系测量布点过程中要严格按照规范要求的直伸型方式进行布网埋设，尤其是近井点的选址与钢丝间距的控制，直接影响测量精度与后续解算效果。

该方法通过合理布设双测站获取多余观测数据，借助严密平差计算实现了误差的有效抵消，其测量精度完全满足《城市轨道交通工程测量规范》（GB 50308-2017）中对地下控制网的精度要求，已在武汉地铁 8 号线三期工程中得到成功应用，隧道贯通误差最终控制在 ±35mm，远优于规范允许的 ±50mm，为长隧道施工提供了稳定可靠的测量技术支撑。

参考文献

[1] 秦长利. 城市轨道交通工程测量. 中国建筑工业出版社，2008（7）：148-183.

[2] 姬晓旭;刘成龙;何波.竖井联系测量的新方法及其应用.铁道勘察.2019（10）：23-27.

[3] 王华强.引水隧道竖井的联系控制测量.山西建筑.2011（3）：198-199.

[4] 中华人民共和国住房和城乡建设部，中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 信息与文献 参考文献著录规则：GB/T 50308—2017. 北京：中国建筑工业出版社，2017：51-57.

Construction of the Index System of the Graded Supervision of Highway Engineering Safety and Environmental Protection

Min Chen

China Highway Engineering Consulting Group Co., Ltd. Wuhan Branch, Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract

The sustained expansion in scale and volume of highway construction projects has heightened demands for safety and environmental oversight. Establishing a scientifically grounded and rational hierarchical supervision framework for highway engineering safety and environmental protection is pivotal to achieving precise and efficient regulation. This study conducts an in-depth analysis of current supervision practices, employing analytical methods such as the Analytic Hierarchy Process (AHP) and expert consultation to identify indicators across personnel, equipment, environmental, and management dimensions. A comprehensive and targeted hierarchical supervision system is developed, with detailed elaboration on key aspects including indicator weighting and classification criteria. The research aims to provide robust support for enhancing the regulatory standards of highway engineering safety and environmental protection.

Keywords

highway engineering; safety and environmental protection; hierarchical supervision; index system

公路工程安全环保分级监管指标体系构建

陈敏

中国公路工程咨询集团有限公司武汉分公司, 中国·湖北 武汉 430000

摘要

公路工程建设规模与数量的持续增长, 对安全环保监管提出了更高要求。构建科学合理的公路工程安全环保分级监管指标体系, 是实现精准化、高效化监管的关键。本文通过深入剖析公路工程安全环保监管现状, 采用层次分析法、专家咨询法等, 从人员、设备、环境、管理等多维度选取指标, 构建了一套全面且具有针对性的分级监管指标体系, 并对指标权重确定、分级标准划分等关键环节进行了详细阐述, 旨在为提升公路工程安全环保监管水平提供有力支撑。

关键词

公路工程; 安全环保; 分级监管; 指标体系

1 引言

公路作为交通运输的关键基础设施, 在推动经济发展、促进区域交流等方面发挥着不可替代的作用。然而, 公路工程建设与运营过程涉及大量复杂作业, 易引发安全事故与环境污染问题。传统统一监管模式难以满足不同规模、类型公路工程的差异化监管需求, 导致监管资源配置不合理, 监管效果参差不齐。构建科学的分级监管指标体系, 依据工程风险程度与环保要求实施分级监管, 能优化资源配置, 提升监管效能, 保障公路工程安全有序推进, 实现经济效益与环境效益的双赢。

2 分级监管指标体系构建原则

2.1 科学性原则

指标选取的科学性原则要求所选指标能准确反映公路

工程安全环保状况及其影响因素的内在联系。为了确保这一点, 指标的定义必须清晰, 计算方法要科学合理, 且数据来源应可靠。例如, 安全管理指标应能全面反映施工现场的安全措施落实情况, 环保指标应能真实反映施工过程中的污染物排放情况。选取的每个指标都要有明确的量化标准, 避免模糊定义导致执行中的误差。此外, 必须通过行业标准、国家规范以及前期实践经验, 结合实际工程的特点, 选定适用的评价标准。科学性原则的核心在于使指标体系具备客观评估工程风险与环保水平的能力, 从而确保公路工程在建设 and 运营过程中, 安全环保状况能够得到准确、真实的反映。这样不仅能够确保监管的公正性与科学性, 也能够帮助有关部门根据这些数据制定相应的政策和管理措施, 从而实现精准、高效的监管目标。

2.2 系统性原则

系统性原则要求从人员、设备、环境、管理等多维度进行综合考量, 全面反映公路工程建设与运营过程中的各个方面。在选择具体的安全环保指标时, 应涵盖从项目初期设

【作者简介】陈敏(1990-), 女, 中国湖北宜城人, 本科, 工程师, 从事安全环保工作管理研究。

计、施工阶段到后期运营维护等各个环节。各项指标之间相互关联、相互补充，形成一个完整的系统。比如，安全管理不仅包括人员的安全培训情况，还涉及设备的维护保养、施工现场的安全设施配置等多个方面；环保方面则涉及污染源控制、环境监测、废水废气处理等多个维度。通过这种系统性的指标设置，可以确保每个环节的安全与环保得到有效监督，避免因局部指标的疏漏或片面性而导致整体监管的缺失。此外，系统性原则强调指标体系要能够适应公路工程的不同规模与复杂度，做到因地制宜、因时制宜，确保在各种情况下都能发挥有效的监管作用。

2.3 可操作性原则

可操作性原则要求所选的安全环保指标能够方便地获取、量化和评价。首先，指标必须能够通过现场检查、监测数据、文件记录等途径直接获取，避免使用难以验证或量化的抽象概念。比如，人员持证上岗率和设备定期检查率等指标，均可以通过现场检查和档案记录来确认，具有较高的可操作性。对于那些较为复杂或不易直接量化的指标，可以采用定性描述与定量评分相结合的方法。通过制定评分标准，监管人员可以依据实际情况进行合理的评估。例如，施工现场的扬尘控制措施是否到位，可以根据现场环境状况，结合规定标准，进行打分评定。可操作性原则的核心在于使监管人员能够在实际工作中方便地收集数据、执行评估，并做出及时的调整与响应，从而确保监管工作的高效开展。这样不仅提高了监管的效率，也确保了在实际操作中能够切实发挥指标的作用。^[2]

3 公路工程安全环保监管现状及问题

3.1 监管模式缺乏针对性

目前，公路工程的安全环保监管普遍采取统一的监管标准和流程，缺乏对不同 类型、规模及风险等级工程的针对性监管。这种“一刀切”的监管模式，使得不同性质的工程都按照相同的标准进行监管，导致资源的浪费和监管效果的不平衡。例如，小型工程和大型复杂工程采用相同的监管要求，可能会造成小型工程的监管资源过度投入，而大型工程的关键风险点和环保措施可能被忽视。不同规模和性质的公路工程面临的 风险和环保要求差异较大，采用统一模式无法充分体现差异化监管的需求。具体来说，小型公路工程的施工环境和风险相对较低，可能不需要过多的复杂程序和频繁的检查，但对于大规模、高风险的工程而言，可能需要更多的现场监管与风险评估。为了优化监管效果，应根据工程的风险等级、规模、技术复杂性等因素，采用差异化的监管措施，实现精准化、个性化的监管模式。

3.2 监管指标不完善

当前公路工程安全环保监管体系中的指标体系主要关注一些结果性指标，如事故发生率、污染物排放是否达标等，然而对于施工过程中的安全管理行为、环保措施落实情况等

过程性指标的 关注较少。例如，尽管存在一些关于施工现场扬尘控制、污水排放标准等的指标，但在执行层面，缺乏对施工人员安全培训质量、设备定期检查与维护及时性等过程性指标的量化和细化。很多监管人员对于具体的管理行为、环保措施落实情况难以做出定量评估，导致整体监管的效果受到限制。过程性指标的缺失，使得监管仅停留在结果层面，无法深入施工全过程，对潜在的安全隐患和环保问题提供早期预警。为解决这一问题，需要引入更多的过程性指标，如对施工现场的安全文化建设、环保设施的实时监测、施工人员的安全行为规范等进行量化评估，确保监管工作更为全面、细致，能够及时发现问题并采取有效措施。

3.3 资源配置不合理

由于缺乏科学的分级依据，当前公路工程安全环保监管的资源配置存在一定的盲目性。在一些低风险项目中，过多的监管资源被投入，造成了资源的浪费。而在一些高风险、环境敏感的项目中，由于资源不足，监管力度不够，未能充分覆盖到所有关键环节，造成了潜在的安全隐患和环保风险未能及时发现和解决。例如，在一些施工进度较慢的小型项目中，监管人员和设备的投入可能远远超出了实际需要，而一些大型、复杂的工程项目，往往由于缺乏足够的监管力量，可能导致事故隐患和污染问题未能得到有效管控。此外，资源配置不合理还表现在突发安全事故或环保事件应对不及时，监管人员无法迅速调配资源进行应急处置，延误了问题的解决时机。针对这一问题，应根据工程项目的规模、风险等级、环境敏感程度等因素，合理配置监管资源，确保高风险项目得到充分监管，同时避免低风险项目资源的过度投入，从而提高整体监管效能和应急响应能力。

4 分级监管指标体系构建

4.1 指标选取

从安全和环保两个大的方面进行指标选取。安全方面，涵盖人员安全管理、设备安全性能、施工安全措施、安全管理体系等维度。人员安全管理指标包括施工人员持证上岗率、安全培训参与率等；设备安全性能指标有特种设备定期检验率、机械设备完好率等；施工安全措施指标涉及安全警示标志设置覆盖率、临时用电安全达标率等；安全管理体系指标包含安全管理制度完善度、安全事故应急预案有效性等^[3]。

环保方面，涉及生态环境保护、污染防治措施、环境管理体系等维度。生态环境保护指标如生态恢复措施落实率、取弃土场植被覆盖率等；污染防治措施指标涵盖扬尘控制达标率、污水达标排放率等；环境管理体系指标包括环境管理机构健全度、环境监测计划执行率等。

4.2 指标权重确定

层次分析法（AHP）在确定公路工程安全环保分级监管指标权重时发挥着关键作用。构建递阶层次结构模型是首要步骤，将公路工程安全环保分级监管设定为目标层，它如