电力通信网发展水平综合评价方法研究

随着建设坚强智能电网深入开展，电力系统进入信息化、自动化和互动化的新时代，电网对通信网不断提出更高要求。为科学评价电力通信网发展水平，提出电力通信网发展水平综合评价指标体系。该指标体系从电力通信规模、性能和运行三个维度提出各种评价模型对电力通信网进行评价，全面覆盖骨干通信网及通信接入网。在此基础上，给出各评价指标目标值，可对电力通信网建设中的薄弱环节进行分析，提高电力通信网建设的有效性和科学性。

江 璟 金广祥/国网北京经济技术研究院

江 璟/工程师

关键词/Keywords
电力通信网·
综合评价·
目标值·

0 引言

随着建设坚强智能电网深入开展，电力系统进入信息化、自动化和互动化的新时代，电网对通信网不断提出更高要求。电力通信网作为智能电网的支撑网络已成为电网创新和发展的基础。当前，电力通信网承载业务数量庞大，结构日趋复杂[1]，且其仍在面对不断增长的新业务、新功能。在这种新形势下，急需建立一种简单有效的电力通信网发展水平综合分析评估体系，对通信网的发展水平进行准确分析评价，以确保电力通信网的发展水平能够适应电网发展的要求[2-4]。

可靠性作为电力通信网的重要评价之一，电力通信网可靠性研究在电力通信网与电力系统的综合可靠性、通信通道可靠性[5]和电力通信网可靠性管理等方面已取得了一些成果[6-7]。文献[8]从单一业务角度对网络的脆弱性和有效性进行了分析；文献[9]将业务重要度作为网络参数，在业务层上建立电力通信网网络模型，以链路失效造成的业务重要度损失来衡量网络的脆弱性；文献[10]提出了业务风险度、通道段业务风险度及全网业务风险均衡度的概念，建立了基于全网业务风险均衡度的电力通信网可靠性的评估测度指标、评估模型及求解方法。以上工作多是基于可靠性评价电力通信网，缺乏对电力通信网的综合评价手段。

当前，对电力通信网发展水平进行综合性评价，面临如下主要问题。

1）未建立全面有效的评估体系。虽然目前已存在许多电力通信网评价方法，但均具有操作性不强，覆盖范围不够全面、操作不够简单等缺点，使得电力员工无法利用日常通信工作对电力通信网发展水平进行有效评价。

2）通信网发展评价方案未与实际数据相结合。已有评价方法存在指标数据未及时更新，落后于现有网络状况，不能满足电力通信网发展评价需求。

3）评价指标未能与网络建设方案相结合。现有评价指标与电力通信网络建设方案脱节，无法根据评价结果得出有效的网络建设指导意见。

本文根据现有网络建设情况及规划成效提出按照网络规模、网络性能和网络运行分别设置评价指标，对电力通信网发展水平进行完整全面的评价，并通过各指标目标值的研究设定，有效地指导电力通信网络建设。

1 电力通信网评价必要性分析

电力通信网长期以来作为电网的支撑网络，对保障电网安全，支撑公司现

代化管理具有十分重要的意义。随着建设坚强智能电网深入开展，新形势下电力通信网络面临更高的要求。全面支持电力调度、保护和配电自动化等业务要求通信网络提供全面覆盖。变电站视频监控、线路监控及视频会议等多种系统的普及对通信带宽不断提出高需求。充分发挥网络优势需要较高的运行保障水平。

同时现有的电力通信网络还存在一些不足之处，部分A＋、A类供电区域光纤覆盖率较低，不能满足配电自动化的需求。部分地市骨干网核心环网尚存在带宽容量不足等问题，不能满足新增大颗粒业务的通信需要。缺少电力通信运维专业队伍，技术人员业务能力亟待提高。

由以上分析可以看出，对现有网络进行科学有效的评价是非常必要的。通过评价网络发展水平，可以充分整合网络资源，暴露存在的问题，有针对性地使网络结构更加合理优化，支撑业务更加多样，运行效率更加高效。

2 评价模型的构建

2.1 评价模型的设计原则

评价模型的设计遵照以下四个原则。

1）完整性原则。确保指标体系覆盖所有核心通信网络，促进各部门和机构统计指标的相互协调补充，实现指标体系对电力通信业务的全覆盖。

2）实用性原则。统计指标设置尽量与工作中应用的统计指标保持一致，采用的各项统计指标源自基层统计工作又能灵活应用于基础性统计工作，指标体系的拓展能够满足工作中的实际需求。

3）规范性原则。统计指标的计量单位、统计范围和统计分组等要素定义符合规范性要求，指标及相关要素设置定义清晰，指标释义简洁明确，采集渠道口径一致，统计数据便于规范使用，保证统计指标的稳定性[11]。

4）科学性原则。坚持统计指标来自生产实践又能指导生产实践的工作思路，制定合理、规范和完善的统计指标体系，保证指标信息来源符合规范，指标涉及的数据、文字等信息客观严谨，经得起实践检验。

2.2 规模评价模型

电力通信网应全面覆盖各电压等级输变电设施、各级调度等电网生产运行场所。国家电网公司经营区域覆盖全国26个省（自治区、直辖市），电力通信网络建设规模庞大。覆盖率是电力通信网建设规模的重要体现。电力通信网可分为骨干通信网和通信接入网。骨干通信网规模类指标有：站点光纤覆盖率、光传输网覆盖率和通信数据网覆盖率。通信接入网规模类指标有：10 kV配电自动化站点通信覆盖率，配电自动化“三遥”终端通信覆盖率。

规模类评价模型重点对评价区域内电力通信网覆盖情况进行评价：①站点的光纤覆盖情况，35 kV及以上电压等级站点是否实现全覆盖，重要站点的覆盖情况；②光传输网的覆盖情况；③通信数据网的覆盖情况；④10 kV配电自动化站点通信覆盖情况（包括光纤、无线、无线公网和载波等各种通信方式的覆盖情况）能否满足配电自动化业务需求，各类供电区域的通信覆盖方式是否合理恰当；⑤配电自动化“三遥”终端的光纤通信覆盖情况能否满足“三遥”终端的通信需求。各指标计算模型如式（1）～式（4）所示，即

$$C_{\text{site}}=\frac{\text{某类厂站（办公场所）光纤覆盖站点数量}}{\text{该类厂站（办公场所）总数量}}\times 100\% \tag{1}$$

$$C_{\text{transmission}}=\frac{\text{某类厂站光传输网已覆盖站点数量}}{\text{该类厂站总数量}}\times 100\% \tag{2}$$

$$C_{\text{distribution}}=\frac{\text{某类具有通信覆盖的10 kV配电自动化站点数量}}{\text{该类10 kV配电自动化站点总数量}}\times 100\% \tag{3}$$

$$C_{\text{terminal}}=\frac{\text{光纤覆盖的配电自动化“三遥”终端数量}}{\text{配电自动化“三遥”终端总数量}}\times 100\% \tag{4}$$

式中，C_{site}为站点光纤覆盖率；$C_{\text{transmission}}$为光传输网覆盖率；$C_{\text{distribution}}$为10 kV配电自动化站点通信覆盖率；C_{terminal}为配电自动化“三遥”终端光纤通信覆盖率。

2.3 性能评价模型

电力通信网应满足电网安全生产等业务对通信带宽及可靠性的要求。带宽是电力通信网性能的主要指标，双路由率及双设备率为通信网的可靠性提供了保障。带宽冗余度是电力通信网规划的重要参考指标，冗余度过低将不能满足电力通信业务快速发展和通道可靠性保障的需求，过高则会造成资源浪费。

性能类评价模型重点对评价区域内电力通信网性能进行评价：①光缆纤芯的利用情况，是否存在区域性的利用率过高或过低；②重要厂站是否有双物理路由接入，且可以做为互备通道使用；③重要节点的传输网络设备双重化配置情况；④主干环网带宽是否满足需求，双传输平面是否具有两层独立的光传输网，单传输平面的网络结构是否清晰，各传输平面是否为环形结构；⑤传输网络带宽冗余是否能满足未来一段时期内的组网及负荷要求；⑥通信数据网带宽是否满足业务需求；⑦通信数据网带宽冗余是否能满足未来一段时期内的组网及负荷要求。各指标计算模型如式（5）～式（11）所示，即

$$U_{\text{core}}=\frac{\text{在用纤芯数量}}{\text{光缆总芯数}}\times 100\% \tag{5}$$

$$R_{\text{routing}}=\frac{\text{某级厂站光缆双路由覆盖数量}}{\text{该类厂站总数量}}\times 100\% \tag{6}$$

$$R_{\text{equipment}}=\frac{\text{某级厂站光传输网双设备覆盖数量}}{\text{该类厂站总数量}}\times 100\% \tag{7}$$

$$B_{\text{transmission}}=\text{该类传输网主干环（链）线路侧光接口速率} \tag{8}$$

$$r_{\text{transmission}}=\frac{\text{传输网断面实际总带宽}-\text{传输网开通业务的带宽}}{\text{传输网断面实际总带宽}}\times 100\% \tag{9}$$

$$B_{\text{relay}}=\text{该单位至上级单位通信数据网主要线路侧接口速率} \tag{10}$$

$$r_{\text{data}}=\frac{\text{通信数据网断面实际总带宽}-\text{通信数据网开通业务的带宽}}{\text{通信数据断面实际总带宽}}\times 100\% \tag{11}$$

式中，U_{core}为光缆纤芯资源利用率；R_{routing}为光缆双路由率；$R_{\text{equipment}}$为光传输网双设备率；$B_{\text{transmission}}$为光传输网带宽；$r_{\text{transmission}}$为光传输网带宽冗余度；B_{relay}为通信数据网中继带宽；r_{data}为通信数据网带宽冗余度。

2.4 运行评价模型

电力通信网应保障电网安全生产等业务的正常运行。运行率是电力通信网运行状态的主要体现。

运行类评价模型重点对评价区域内电力通信网运行情况进行评价：①分析设备运行情况，设备故障数量，是否同一设备反复出现同种缺陷[12]；②分析光缆运行情况，光缆故障公里，是否同一光缆段反复出现运行故障；③分析业务保障情况，业务中断数量、是否同种业务反复中断[13]；④分析配电自动化终端在线情况，终端离线数量，是否同一区域终端反复出现离线故障。各指标计算模型如式（12）～式（15）所示，即

$$O_{\text{equipment}}=\left[1-\frac{\sum\text{光传输设备故障时间}}{\text{光传输设备数量}\times\text{全月日历时间}}\right]\times 100\% \tag{12}$$

$$S_{\text{business}}=\left\{1-\frac{\sum[\text{中断业务条数}\times\text{中断时间}]}{\text{业务条数}\times\text{全月日历时间}}\right\}\times100\% \tag{13}$$

$$O_{\text{line}}=\left\{1-\frac{\sum[\text{光缆故障百公里数}\times\text{故障时间}]}{\text{光缆总皮长百公里数}\times\text{全月日历时间}}\right\}\times100\% \tag{14}$$

$$T_{\text{online}}=\frac{\text{在线的配电自动化终端数量}}{\text{配电自动化终端总数量}}\times100\% \tag{15}$$

式中，$O_{\text{equipment}}$为光传输设备运行率；S_{business}为业务保障率；O_{line}为光缆线路百公里运行率；T_{online}为配电自动化终端在线率。

3 电力通信网综合评价应用

3.1 分别讨论法

分别讨论法对评价对象不会设立一个最终值，所有的指标都是进行分别讨论，即对每个指标进行参考目标值的探讨。使用该方法的目的主要是对已有网络进行评估，由于本指标体系主要是评价网络发展水平，指导评价范围内电力通信网络建设，该方法并不会给出量化的综合评估指标[14]。

该方法的重点是对各指标参考目标值的确定。以指标“站点光纤覆盖率”为例进行分析。由于光纤通信具有容量大、传输距离长和可靠性高等优点被电力通信网广泛采纳。为满足电力通信需求，国家电网公司要求35 kV及以上电压等级变电站100%光纤覆盖。本指标统计范围为公司系统35 kV及以上变电站、各级公司调控中心、直调发电厂和供电所，因此，该指标目标值设定为100%。该指标标准分值设为20分，若有35 kV站点未覆盖，则减去1分，未覆盖数量每增加总数的5%则减去标准分值的5%；110 kV及以上电压等级站点未覆盖，则减去2分，未覆盖数量每增加1%则减去标准分值的10%。分值20分为合格，不合格地区针对未覆盖区域的具体信息进行合理建设。

再对指标“光缆纤芯资源利用率”的评价方法进行说明。纤芯资源是提供电力通信服务的基础，其利用率与通信承载业务能力密切相关。随着信息化、自动化和互动化业务的不断增长，对光纤承载业务能力不断提出更高的需求。此外考虑到工程建设成本及经济效益，该指标目标值设定为40%～50%。该指标按地市骨干传输网进行统计。该指标标准分值设为20分。若统计区域内所有地市骨干传输网均在目标值范围内，则得分20，为合格。该地区若有部分地市骨干传输网利用率不在此范围内，则扣除1分，该区域占比每增加10%，则减去标准分值的5%。

3.2 结果分析

以某地区统计数据为例进行分析。下表为电力通信网发展水平评价指标参考目标值。

表 电力通信网发展水平评价指标参考目标值

指标分类	指标名称	参考目标值(%)
规模类评价模型	站点光纤覆盖率	100
	光传输网覆盖率	100
	通信数据网覆盖率	100
	10 kV配电自动化站点通信覆盖率	100
	配电自动化“三遥”终端光纤通信覆盖率	95
性能类评价模型	光缆纤芯资源利用率	40～50
	光缆双路由率	100
	光传输网双设备率	100
	光传输网带宽	–
	光传输网带宽冗余度	30～40
	通信数据网中继带宽	–
	通信数据网带宽冗余度	60～70
运行类评价模型	光传输设备运行率	≥99.99
	光缆线路百公里运行率	≥99.99
	业务保障率	≥99.99
	配电自动化终端在线率	≥99.9

例如指标“站点光纤覆盖”，对站点光纤覆盖情况进行评价。该地区35 kV站点有513座，覆盖数量为507座，覆盖率为98.8%；110 kV及以上电压等级站点覆盖率为100%，得分为18分。覆盖

率不合格，针对具体得分情况应增强35 kV站点光缆覆盖建设。

该地区13个地市中有3个利用率不在40%～50%之间，占比达到23%，则减去标准分值的15%，得分为16分。三个利用率不达标地市的光缆纤芯利用率分别为68%、73%和35%。前两个地市应当增加光缆纤芯数量，第三个地市应适当减缓光缆建设速度。

如上两例所示，对所有指标统计结果按照参考目标值分别进行讨论，即可对评价区域的电力通信网发展水平进行有效评价，并可对通信网建设作出有效指导。

4 结束语

从网络规模、网络性能和网络运行三个方面，建立了电力通信网建设评价指标体系，全面覆盖电力通信网的骨干通信网和通信接入网等网络层级；给出了分别讨论评价方法的仿真结果分析，并提供了所有评价指标参考目标值。运用各评价模型及其评价指标目标值，可对电力通信网建设中的薄弱环节进行分析，提高电力通信网建设的效率和科学性。

参考文献

[1] 李春华，黄伟，葛敏辉．华东电力调度数据网网络设计 [J]．华东电力，2006，34 (9)：39-41.

[2] 赵子岩，陈希，刘建明．建立电力系统通信网可靠性管理体系相关问题的探讨 [J]．电力系统通信，2006，27 (10)：58-61.

[3] 高强，刘献伟，邱丽君．电力系统应急通信网络及其抗毁性研究 [J]．电网技术，2009，33 (11)：104-108.

[4] 黄邵远，王斌，田森平．电力通信网可靠性工程的测度指标研究 [J]．电力系统通信，2008，29 (10)：61-76.

[5] 熊素琴，周静，赵子岩，等．新一代电力系统自动化通信网络模型与典型网络技术分析 [J]．电网技术，2010，34 (增刊2)：434-437.

[6] Hauser C H，Bakken D E，Bose A．A failure to communicate：next generation communication requirements，technologies，and architecture for the electric power grid [J]．IEEE Power & Energy Magazine，2005，3 (2)：47-55.

[7] 彭静，卢继平，汪洋，等．广域测量系统通信主干网的风险评估 [J]．中国电机工程学报，2010，30 (5)：84-90.

[8] 刘文霞，罗红，张建华．WAMS 通信业务的系统有效性建模与仿真 [J]．中国电机工程学报，2012，32 (16)：144-150.

[9] 樊冰，唐良瑞．电力通信网脆弱性分析 [J]．中国电机工程学报，2014，34 (7)：1191-1197.

[10] 赵子岩，刘建明．基于业务风险均衡度的电力通信网可靠性评估算法 [J]．电网技术，2011，35 (10)：209-213.

[11] 国家电网公司统一统计指标体系规范 [S]．北京：中国电力出版社，2014.

[12] 方巍，陈均．电力通信网可靠性分析评估方法探究 [J]．通信世界，2014 (12)：134-144.

[13] 于晓旭，计海森．ISO/IEC 13335电力通信网安全性能评估 [J]．中国科技博览，2015 (20)：68-68.

[14] 黄善国．光网络规划与优化 [M]．北京：人民邮电出版社，2012.

（收稿日期：2016－11－07）EA

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告